

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КІБЕРБЕЗПЕКИ, КОМП'ЮТЕРНОЇ
ТА ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ І.А. Жуков
(підпис)
« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 123 «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

Тема: _____ «Представницький рівень взаємодії комп'ютерних систем
безпілотних літальних апаратів» _____

Виконавець: _____ студентка групи КС-231М Львова Анна Андріївна
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: _____ д.т.н., професор кафедри КСМ Печурін Микола Капітонович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: _____
(підпис) _____ Малярчук В.О.
(ПІБ)

Засвідчую, що у дипломній роботі немає
запозичень праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____ Львова А.А.
(підпис) (ПІБ)

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) І.А. Жуков
“ _____ ” _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи

Львова Анна Андріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Представницький рівень взаємодії комп'ютерних систем безпілотних літальних апаратів

затверджена наказом ректора від « 25 » вересня 2020 р., № 1793/ст.

2. Термін виконання роботи: з 05. 10. 2020 р. по 30. 12. 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Тип інтелектуального сенсору – фото (відео) сенсор БПЛА. 2. Тип стиснення фото (відео) даних – ДКП.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1. Аналіз засобів реалізації функції представлення та зберігання фото (відео) інформації для комп'ютера БПЛА. 2. Вибір ефективного інструментарію для реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА. 3. Дослідження ДКП на предмет виявлення залежності показників для ідентифікації образу з зображення.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

Презентація Microsoft Office PowerPoint: 1. Базова модель об'єкту дослідження.

2. Параметри вибраного інструментарію дослідження.

3. Результати дослідження.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Узгодження технічного завдання	05.10.2020 – 19.10.2020	
2.	Аналіз засобів реалізації представлення та зберігання фото (відео) інформації	20.10.2020 – 04.11.2020	
3.	Вибір ефективного інструментарію	05.11.2020 – 23.11.2020	
4.	Дослідження ДКП на предмет виявлення залежності показників для ідентифікації образа з зображення	24.11.2020 – 03.12.2020	
5.	Оформлення текстового та графічного матеріалу дипломної роботи	04.12.2020 – 07.12.2020	
6.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	08.12.2020 – 22.12.2020	
7.	Захист дипломної роботи	23.12.2020	

7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи: _____
(підпис)

Печурін М.К.
(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання: _____
(підпис випускника)

Львова А.А.
(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Представницький рівень взаємодії комп'ютерних систем безпілотних літальних апаратів», 93 сторінки, 22 рисунки, 6 таблиць, 41 джерело літератури, 1 додаток.

Мета дипломної роботи – дослідження можливості адаптації інформаційно-телекомунікаційних технологій виконання функцій представницького рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем для умов БПЛА.

Завдання дипломної роботи – системний аналіз засобів реалізації функції представлення та збереження відео (фото) інформації, вибір ефективних засобів для реалізації дослідження їх впливу на предмет виявлення залежності показників ідентифікації образу зображення.

Об'єкт дослідження – процедура ДКП, яка використовується на представницькому рівні для взаємодії комп'ютерних систем безпілотних літальних апаратів.

Предмет дослідження – стиснення та передача фото (відео) інформації з систем безпілотних літальних апаратів.

Практична значимість полягає у наданні рекомендацій проектувальникам комп'ютерних мереж літальних апаратів стосовно можливостей та якості передачі фото (відео) інформації з бортового комп'ютера на наземну станцію.

Програмні засоби, що їх доцільно використовувати – *Microsoft Office 2019, PyCharm Community Edition.*

Основні показники – дослідження та його результати проводяться та оформлюються згідно із державними стандартами України, дійсними у 2020 р.

Рекомендується результати дипломної роботи використовувати при проектуванні комп'ютерних мереж ЛА з метою покращення якості зображень, що передаються.

ДКП, JPEG, ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, БПЛА, PYTHON, КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЇ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВІДЕО (ФОТО) ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРА БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ	14
1.1. Визначення можливих критеріїв якості реалізації функції представлення та зберігання відео (фото) інформації для комп'ютера БПЛА.....	14
1.2. Системний аналіз засобів реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА	34
Висновки за розділом.....	41
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЇ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРА БПЛА.....	44
2.1. Способи вибору ефективних інструментів для реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА на основі показників критеріїв якості	44
2.2. Вибір інструментарію для реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА	53
Висновки за розділом.....	65
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДКП НА ПРЕДМЕТ ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБРАЗА З ЗОБРАЖЕННЯ	67
3.1. Виявлення залежності показника «успішність ідентифікації образів, що їх отримав комп'ютер БПЛА» від величини «необхідний обчислювальний ресурс для обробки, зберігання та передачі інформації» для векторного ДКП	67

3.2. Виявлення залежності показника «успішність ідентифікації образів, що їх отримав комп'ютер БПЛА» від величини «необхідний обчислювальний ресурс для обробки, зберігання та передачі інформації» для двовимірного ДКП	74
Висновки за розділом.....	80
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87
ДОДАТКИ.....	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТЕРМІНІВ

<i>AHP</i>	–	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
<i>ARJ</i>	–	<i>Archiver by Robert Jung</i>
<i>ASCII</i>	–	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
<i>AVI</i>	–	<i>Audio Video Interleave</i>
<i>BMP</i>	–	<i>Bitmap Picture</i>
<i>CD-ROM</i>	–	<i>Compact Disc Read-Only Memory</i>
<i>CODEC</i>	–	<i>Compressor-DECompressor</i>
<i>DNG</i>	–	<i>Digital Negative Specification</i>
<i>DVB</i>	–	<i>Digital Video Broadcasting</i>
<i>DVD</i>	–	<i>Digital Versatile Disc</i>
<i>ELECTRE</i>	–	<i>ELimination Et Choice Translating REality</i>
<i>FFT</i>	–	<i>Fast Fourier Transform</i>
<i>GIF</i>	–	<i>Graphics Interchange Format</i>
<i>GPS</i>	–	<i>Global Positioning System</i>
<i>IBM</i>	–	<i>International Business Machines</i>
<i>ISO</i>	–	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>JPEG</i>	–	<i>Joint Photographic Expert Group</i>
<i>LZW</i>	–	<i>Lempel-Ziv-Welch</i>
<i>MIDI</i>	–	<i>Musical Instrument Digital Interface</i>
<i>MPEG</i>	–	<i>Moving Picture Experts Group</i>
<i>NTSC</i>	–	<i>National Television System Committee</i>
<i>PAL</i>	–	<i>Phase Alternating Line</i>
<i>PCX</i>	–	<i>PCExchange</i>
<i>PNG</i>	–	<i>Portable Network Graphics</i>
<i>RGB</i>	–	<i>red, green, blue</i>
<i>RLE</i>	–	<i>Run-length encoding</i>
<i>SEMA</i>	–	<i>Specialty Equipment Market Association</i>

<i>TIFF</i>	–	<i>Tagged Image File Format</i>
<i>VLSI</i>	–	<i>Very large-scale integration</i>
АОК	–	аналіз основних компонентів
БАС	–	безпілотна авіаційна система
БПЛА	–	безпілотний літальний апарат
БСМ	–	бездротові сенсорні мережі
ДВТ	–	дискретне вейвлет-перетворення
ДКП	–	дискретне косинусне перетворення
ДПФ	–	дискретне перетворення Фур'є
ЕОМ	–	електронно-обчислювальна машина
МАІ	–	метод аналізу ієрархій
НКУ	–	наземний комплекс управління
ОПР	–	особа, що приймає рішення

ВСТУП

Використання БПЛА поступово зростало за останнє десятиліття, і в наш час його стали вважати стандартним інструментом дослідження для отримання зображень та іншої інформації на запит в певній області. БПЛА являє собою дешеве та швидке рішення для отримання на замовлення детальних зображень цікавої області та створення детальних 3D-моделей та ортофото. Використання цих систем вимагало хорошого досвіду обробки даних та хорошої здатності оператора безпілотної для управління польотною місією, зокрема в складних умовах.

Найбільш поширеним використанням БПЛА є отримання зображень та відео для моніторингу, фотограмметрії, зйомок, безпеки та будь-якої документації, також для геологічних застосувань. Зараз доступні різні категорії камер для цього типу програм: професійні, напівпрофесійні та екшн-камери. Для кожної категорії необхідне калібрування лінз, щоб забезпечити якість кінцевого результату.

Застосування дронів в геодезичних роботах економить час і фінансові ресурси. Інженери отримують оброблені дані високої якості в кілька разів швидше, ніж при використанні стандартних методик і техніки. Технічні можливості безпілотної дозволяють робити 3D-знімки, нездійсненні при традиційній аерофотозніманні пілотованими апаратами.

Одним з найбільш критичних моментів у використанні камер *RGB* є ідентифікація та вимірювання положення зйомки для здійснення орієнтації зображення. В даний час багато комерційних навігаційних систем можуть одночасно керувати отриманням зображення та зберігати позицію БПЛА. На етапі подальшої обробки позицію БПЛА можна зберігати у файлі отриманого зображення або поєднати у спеціальному програмному забезпеченні. Що стосується фази обробки зображень, то найбільш застосовуваною технікою є “структура від руху”, яка дозволяє тривимірну реконструкцію об’єкта, що обстежується, для подальшої обробки та аналізу. Цей підхід був задовільно застосований і в геонауках та в інженерній геології.

На додаток до *RGB*-камер, мультиспектральні можуть захоплювати дані зображення в невидимому секторі світлового спектру. Вони оснащені масивом датчиків, кожен з яких отримує певний інтервал довжини хвилі. У деяких випадках інтервали імітують ті, що були представлені відомими супутниковими місіями, що встановлюють мультиспектральні датчики. Для проведення багатосмугового аналізу та обчислення індексів також отримуються видимі смуги. Якщо камера призначена для певного завдання, може розглядатися лише частина видимого спектру.

Передумовами застосування БПЛА в якості нового фотограмметричного інструменту є недоліки двох традиційних способів отримання даних ДЗЗ за допомогою космічних супутників (космічна зйомка) і повітряних пілотованих апаратів (аерофотозйомка).

Дані супутникової зйомки дозволяють отримати знімки з максимальним загальнодоступним дозволом 0,5 м, що недостатньо для великомасштабного картування. Крім того, не завжди вдається підібрати безхмарні знімки з архіву. У разі зйомки під замовлення втрачається оперативність отримання даних. Відносно компактних ділянок оператори і дистриб'ютори часто не виявляють гнучкої цінової політики.

Лінія передачі даних використовує радіочастотний канал для передачі та прийому інформації на БПЛА та з неї. Ці передачі можуть включати місцезнаходження, залишковий час польоту, відстань і місце розташування до цілі, відстань до пілота, місцезнаходження пілота, інформацію про корисне навантаження, швидкість руху, висоту та багато інших параметрів. Цей канал передачі даних також може передавати відео в реальному часі з БПЛА назад на наземну станцію, щоб пілот і наземний екіпаж могли спостерігати за тим, що бачить камера БПЛА.

Основні компоненти БПЛА можна розділити на три основні категорії:

- повітряна платформа, яка включає планер, навігаційну систему, енергосистему та корисне навантаження;
- наземний комплекс управління (НКУ), яка дозволяє керувати людиною з віддаленого місця розташування;
- система зв'язку, яка підтримує зв'язок між двома іншими компонентами.

Точність повітряних даних безпосередньо пов'язана з просторовою роздільною здатністю вхідних зображень. Зображення з БПЛА з високою роздільною здатністю можуть конкурувати з традиційними аерографічними картами, завдяки яким на борту використовуються високоточні датчики вирівнювання та позиціонування. Поліпшення обчислювальних практик призвело до енергійних та повністю автоматизованих виробничих практик, а також у поєднанні з висококласними обчислювальними машинами та механізмами перегляду будуть мати справу з позиційними неточностями та інформацією про орієнтацію зображень, що характерно складно для звичних технік.

Оскільки наше використання та використання комп'ютерів продовжує зростати, зростає і наша потреба в ефективному способі зберігання великих обсягів даних. Наприклад, веб-сторінці або онлайн-каталогу, який використовує десятки або, можливо, сотні зображень, з більшою ймовірністю потрібно буде використовувати форму стиснення зображень для зберігання цих зображень. Це пов'язано з тим, що кількість місця, необхідного для зберігання зображень, може бути надмірно великою з точки зору вартості. На щастя, сьогодні існує кілька способів стиснення зображень. Вони поділяються на дві загальні категорії: стиснення зображення без втрат та з втратами.

Не стиснене повнокольорове зображення, у розмірі 2000*1000 пікселів матиме розмір близько 6 мегабайт. Якщо говорити про зображення, отримане з професійних камер або сканерів високої роздільної здатності, то їх розмір може бути ще більше. Не дивлячись на швидке зростання ємності пристроїв зберігання, як і раніше дуже актуальними залишаються різні алгоритми стиснення зображень.

Існуючі алгоритми можна розділити на два великі класи:

- алгоритми стиснення без втрат;
- алгоритми стиснення з втратами.

Алгоритм стиснення без втрат передбачає собою існування алгоритму, зворотного алгоритму стиснення, що дозволяє точно відновити вихідне зображення. Для алгоритмів стиснення з втратами зворотного алгоритму не існує. Існує алгоритм, який відновлює зображення, яке не точно збігається з вихідним. Алгоритми

стиснення і відновлення підбираються так, щоб домогтися високого ступеня стиснення і при цьому зберегти візуальну якість зображення.

JPEG – це широко використовувана форма стиснення зображень із втратами, яка зосереджується навколо дискретного косинусного перетворення. ДКП працює шляхом розділення зображень на частини різної частоти. Під час етапу, званого квантуванням, де відбувається частина стиснення, менш важливі частоти відкидаються, звідси з'являється термін “втрати”. Потім використовуються лише найважливіші частоти, які залишаються, для отримання зображення в процесі декомпресії. В результаті реконструйовані зображення містять певні спотворення; але, як ми скоро побачимо, ці рівні спотворень можна регулювати на етапі стиснення. Метод *JPEG* використовується як для кольорових, так і для чорно-білих зображень.

Дискретне косинусне перетворення є основою багатьох методів стиснення зображень. Наприклад, стандарт *JPEG*, для якого ДКП проводиться в блоках зображень розміром 8×8 , існував як основний стандарт стиснення зображення близько 10 років. Однак багато досліджень і досягнутий прогрес у цій галузі стосувалися застосувань дискретного вейвлет-перетворення (ДВТ). Наприклад, стандарт стиснення *JPEG2000*, прийнятий зовсім недавно, базується на ДВТ і зазвичай забезпечує значно кращу якість декодованих зображень, ніж *JPEG*. В даній роботі проведений аналіз роботи стандарту стиснення *JPEG*, розглянуто його можливості та переваги над ДВТ.

В ході розвитку виробництва зростає не тільки складність управління, а й вимоги до якості прийнятих рішень. Для того, щоб підвищити обґрунтованість рішень і врахувати безліч чинників, що впливають на їх результати, необхідний аналіз. Теорія прийняття рішень як розділ системного аналізу дозволяє досліджувати різні проблемні ситуації, розробити їх моделі, а також надає велику кількість математичних методів для вирішення задач прийняття рішень в цих ситуаціях.

Мета і завдання дипломної роботи. Головною метою дипломної роботи є дослідження можливості адаптації інформаційно-телекомунікаційних технологій виконання функцій представницького рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем для умов БПЛА.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

- системний аналіз засобів реалізації функції представлення та збереження відео (фото) інформації;
- вибір ефективних засобів для реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА;
- дослідження впливу обраних засобів на предмет виявлення залежності показників для ідентифікації образу з зображення.

Об'єкт дослідження – процедура ДКП, яка використовується на представницькому рівні для взаємодії комп'ютерних систем безпілотних літальних апаратів.

Практична значимість дипломної роботи полягає у наданні рекомендацій проектувальникам комп'ютерних мереж літальних апаратів стосовно можливостей та якості передачі фото (відео) інформації з бортового комп'ютера на наземну станцію.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЇ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВІДЕО (ФОТО) ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРА БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

1.1. Визначення можливих критеріїв якості реалізації функції представлення та зберігання відео (фото) інформації для комп'ютера БПЛА

Дистанційні дані – найбільш універсальна форма реєстрації зображення, що несе географічну інформацію про досліджуваних об'єктах, яка забезпечує можливість інтерполяції і екстраполяції наземних даних. Останнім часом проведення наземних точкових і маршрутних досліджень доповнюється роботами, пов'язаними з запуском безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Інформація про зйомку за допомогою БПЛА в даний час розглядається як більш дешева і оперативна альтернатива використанню супутникових даних.

Дрон або БПЛА (безпілотний літальний апарат) – загальні терміни, що включають багато типів безпілотних літальних апаратів з дистанційним управлінням. Професійні безпілотники мають широкий спектр застосування. Безпілотники виявляють зниклих людей і можуть контролювати місця проживання, доставляти товари, досліджувати місцевість, виконувати стратегічні військові польоти. Електроенергетичні компанії зараз перевіряють деякі свої високовольтні лінії без дорогих відключень електроенергії та ризикових підйомів. Навіть така консервативна галузь, як залізничні компанії, розглядає безпілотники для перевірки порушених колій в районах з обмеженим доступом [32].

У таких апаратах, як БПЛА, максимальна відстань передачі є критичним параметром. Однак не менш важливо, щоб спілкування не переривалось навіть на обмеженій відстані.

Для забезпечення завдань спостереження поверхні в реальному масштабі часу в процесі польоту і цифрового фотографування обраних ділянок місцевості,

включаючи важкодоступні ділянки, а також визначення координат досліджуваних ділянок місцевості корисне навантаження БПЛА повинна містити в своєму складі:

- пристрої отримання видової інформації;
- супутникову навігаційну систему;
- пристрої радіолінії видовий і телеметричної інформації;
- пристрої командно-навігаційної радіолінії з антенно-фідерних пристроєм;
- пристрій обміну командної інформацією;
- пристрій інформаційного обміну;
- бортова цифрова обчислювальна машина;
- пристрій зберігання видової інформації.

У системі передачі даних використовуються різні частоти. Частоти, які використовуються, залежать від виробника БПЛА, а також від функціональності БПЛА. Наприклад, літальні апарати *DJI* використовують 2,4 ГГц для управління БПЛА та 5 ГГц для передачі відео. Це налаштування надасть користувачеві приблизно 6 кілометрів дальності польоту. Однак, якщо використовувати 900 МГц для управління БПЛА та 1,3 ГГц для відео, можна досягти відстані більше 32 кілометрів [33].

Коли передавач знаходиться далеко від приймача, сигнал слабший і для того, щоб підтримувати передавач в мережі та підтримувати формат відео з однаковою швидкістю передачі відеоданих, основна смуга повинна використовувати модуляцію нижчого порядку за рахунок збільшення пропускної здатності [4].

Прогресивна передача зображення – це метод кодування, передачі та декодування оцифрованих даних, що представляють зображення таким чином, що основні характеристики зображення, наприклад контури, можуть відображатися спочатку з низькою роздільною здатністю, а згодом уточнюватися до вищої та вищої роздільної здатності. При прогресивній передачі зображення кодується електронним аналогом до декількох сканувань одного і того ж зображення з різною роздільною здатністю [41].

На кінці прийому прогресивне декодування зображення призводить до початкової приблизної реконструкції зображення, за яким слідує послідовно кращі

зображення, вірність яких поступово формується з наступних сканувань. В одному варіанті здійснення цієї загальної схеми приймач або переглядач може перервати послідовність передачі з менш ніж ідеальною роздільною здатністю або може на основі часткового зображення прийняти рішення про подальшу передачу та реконструкцію. Мета полягає в тому, щоб показати значущі, але широкі особливості зображення на ранній стадії передачі, щоб глядач міг інтерактивно реагувати. В результаті цього методу передачі зображень відбувається своєрідне грубе стиснення даних, що виникає внаслідок того, що у відповідних додатках лише невелика частина загальних даних повинна надсилатися, якщо бажано зображення з низькою роздільною здатністю [41].

Порядок відбору, передачі та подання кінцевому користувачеві даних зображення може мати динамічний пріоритет у відповідь на вміст зображення та безпосередній інтерес користувача. Така передача може призвести до відображення з нерівномірною роздільною здатністю. Регіони, що містять візуально чи оперативну важливу інформацію, можуть бути надані з набагато більшою роздільною здатністю, з уточненням відкладеним для областей однакової інтенсивності або меншого значення [41].

Для виконання спеціальних завдань, зокрема для аерофотозйомки, БПЛА повинен розглядатися в сукупності з його приладами оснащення і корисним навантаженням, для чого введений термін безпілотна авіаційна система (БАС).

БАС, крім БПЛА, складається з бортового комплексу управління, корисного навантаження і наземної станції управління [10].

1. Бортовий комплекс:

- інтегрована навігаційна система;
- приймач супутникової навігаційної системи;
- автопілот;
- накопичувач польотної інформації.

Завданнями автопілота є автоматичний політ по заданому маршруту, автоматичний зліт і захід на посадку, підтримка заданої висоти і швидкості польоту, стабілізація кутів орієнтації, примусова посадка в разі відмови двигуна або інших

серйозних неполадок, програмне управління бортовими системами і корисним навантаженням, наприклад, стабілізація відеокамери і синхронізація за часом і координатами спрацювання затвора фотоапарата, випуск парашута

2. До корисного навантаження для задач аерофотозйомки відноситься цифрова фотокамера, як доповнення можуть використовуватися відеокамера, тепловізор, ІР-камера.

3. Функції наземного пункту управління:

- стеження за польотом;
- прийом даних;
- передача команд управління.

Відео програми швидко з'являються як найважливіший компонент ефективного зв'язку в надзвичайних ситуаціях. Наприклад, аварійно-рятувальні служби можуть використовувати відео, щоб надати аерофотознімки лісових пожеж пожежникам, контролювати дорожній рух, оцінювати місце аварії або як доказ у кримінальній справі. У минулому фахівці покладалися на виробників для створення та забезпечення відео обладнання та специфікацій системи. Однак відеотехнологія розвинулася, що призвело до створення більш складних відеосистем та безлічі відеосистем та компонентів, з яких можна вибирати в процесі закупівель. Оскільки багато агентств з реагування на надзвичайні ситуації не мають інструментів, підтримки та інформації, необхідних для прийняття обґрунтованих рішень про придбання відеосистеми, вони мають велику проблему при закупівлі відеосистем, які досягають бажаної якості відео [26].

«Якість відео» – це здатність органу реагування на надзвичайні ситуації використовувати необхідне відео для виконання певної мети. Наприклад, якщо метою відео є захоплення номерних знаків транспортних засобів у різних зовнішніх умовах, якість відео вимірюється у здатності відеовиходів забезпечувати відеосистему. Оскільки цей посібник не буде прямо консультувати користувачів щодо того, яку відеосистему придбати, читачам слід проконсультуватися з досвідченими спеціалістами у галузі відео, щоб визначити конкретні системи та отримати інформацію про законодавчі акти щодо закупівель.

Наступні п'ять аспектів класу узагальненого використання, кожен з яких може вплинути на якість відеозмісту, який бачить і використовує кінцевий користувач.

1. Рівень дискримінації.

Відео може використовуватися для ідентифікації широкого спектру деталей, від виявлення руху до позитивної ідентифікації особи для отримання криміналістичних доказів. Не кожна відеосистема повинна виконувати позитивну ідентифікацію. Вибрана відеосистема повинна відповідати вимогам програми, не перевизначаючи та не вказуючи систему.

2. Часові рамки використання.

Якщо користувачеві потрібно лише визначити, чи є на сцені люди, буде достатньо “Загальних елементів дії”. Якщо користувачеві потрібно широкомасштабне розпізнавання, наприклад, різниця між автомобілем та фургоном, тоді “Розпізнавання цільового класу” відповідає системним потребам користувача.

3. Розмір цілі.

Розмір області об'єкту, який цікавить (цілі) щодо розміру поля зору безпосередньо впливає на здатність розпізнавати цю ціль, коли камера має максимальний оптичний зум. Чим більша ціль відносно поля зору, тим більше деталей можна розпізнати. Розмір цілі, яка сприймається, залежить від фактичного розміру цілі, її відстані від камери та поля зору камери.

4. Рух у сюжеті (наприклад, фон, ціль або камера)

Рух може надходити від цілі (наприклад, автомобіль, що проїжджає повз), фону (наприклад, велика юрба) або від самої камери, що рухається (наприклад, встановлена камера в поліцейській машині). Рух впливає на тривалість часу, коли бажана ціль відображається у відеокадрі, і може спричинити розмиття цілі. Високий рух може бути спричинений або багатьма рухомими об'єктами в межах сцени, або одним об'єктом, що швидко рухається.

5. Рівень освітлення.

Рівні освітленості можуть варіюватися від дуже темного (наприклад, вночі або в приміщенні) до дуже яскравого (наприклад, денного або прожектора), що впливає на здатність камери знімати зображення. Наявність одночасно дуже яскравих і дуже

темних областей у кадрі називається високим динамічним діапазоном і може погіршити розпізнавання цілі [26].

Комбінації конкретних потреб кінцевого користувача у цих п'яти областях складають загальний клас використання. Є ще багато аспектів, які впливають на відео, і кожен із цих параметрів має нескінченну кількість можливих значень.

Сфера застосування даних аерофотозйомки з БПЛА:

- енергетичний і нафтогазовий комплекс для моніторингу об'єктів інфраструктури;
- сільське, лісове та водне господарство для оцінки стану полів, насаджень, водойм і ефективного управління виробництвом;
- транспортно-дорожній комплекс для отримання оперативних і аналітичних даних про стан автомобільних доріг і залізничних ліній;
- геодезія, картографія та топографія для отримання точних відомостей про рельєф місцевості і складання карт;
- у моніторингу надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків.

Аерофотозйомка з БПЛА підрозділяється на зйомку з безпілотників літакового типу і мультикоптер (квадрокоптера, гексакоптеров, октокоптеров).

Зйомка з безпілотних літаків ідеально підходить для моніторингу невеликих площ з метою отримання ортофотопланів місцевості та вирішення інших завдань.

Зйомка з мультикоптеру оптимальна для моніторингу великих площ (літаки і супутники для цих цілей поки залишаються поза конкуренцією). Для підготовки до польотів мультикоптер потрібно не більше 10-20 хвилин, не потрібно майданчик для запуску і посадки, знімальна команда складається всього з двох чоловік - пілота і оператора, а вартість робіт, в залежності від обсягів і завдань, може починатися від декількох тисяч рублів. Мультикоптер здатний зависати в одній точці, що дозволяє робити безліч кадрів, які згодом можна зшити в панорамне фото, або створити сферичну 3D-панораму або віртуальну екскурсію з повітря.

Для проведення картографічних робіт застосовують безпілотники літакового і вертолітного типів. Літаки використовують для зйомки великих радіусів місцевості (понад 20 км). Такі апарати здатні знімати сотні гектарів за 1 годину перебування в

повітрі. З метою дослідження локальних зон підходить квадрокоптер. Перед польотом дрон оснащують високоточною камерою, *GPS* і спеціальним програмним забезпеченням. Устаткування дозволяє проводити зйомку місцевості з точністю до 1-2 см.

БПЛА – ефективний інструмент проведення аерофотозйомки, доступна і надійна альтернатива класичної пілотованої техніці. Серед переваг безпілотників:

- низькі фінансові витрати на проведення картографічних робіт;
- висока продуктивність дронів - здатність робити якісні знімки тисяч гектарів за яке час;
- точність отриманих знімків;
- доступ до будь-якої території (незалежно від рельєфу, віддаленості та інших перешкод);
- стійкість до суворих погодних умов;
- можливість установки додаткового обладнання для поліпшення якості і точності знімків;
- здатність виконувати відразу кілька завдань (зйомка, навігація, передача інформації оператору, обробка даних).

Основна перевага безпілотників в картографії – економія часу. При традиційній топографічній зйомці збір координат може займати 3-4 дня. При цьому кількість необхідних точок для фіксації вимірюється в тисячах. Використання дрона знімає потребу у великій кількості точок: досить нанести кілька міток. В середньому збір даних за допомогою БПЛА проходить в 15 разів швидше.

Захоплення зображення – це процес запису даних, таких як послідовність зображень або відео. Процес захоплення зображення складається з перетворення інформації (тобто світла) з реальної сцени в потік інформації, який підходить для решти посилянь за допомогою фотографічного або електронного носія. У випадку із сучасним відео, процес дещо модифікується. Камера знаходиться перед сценою і має оптику (зазвичай це просто об'єктив, але це може бути система нічного бачення). Об'єктив подає сфокусоване світло на внутрішню роботу камери – проекцію інформації з місця події. Камера перетворює прогнозовану інформацію в потік

електронних даних, які можуть підтримувати подальшу обробку, зберігання та перегляд. Для цифрових зображень процес зйомки перетворює світло в цифрову форму за допомогою датчика та оцифровки [26].

Обробка відноситься до будь-якого вдосконалення, відновлення або іншої операції, яка виконується над відеосигналом. Це також може стосуватися будь-якої обробки, яка відбувається автоматично як частина системи; наприклад, обробка, виконана всередині цифрової камери для перетворення зображення у формат файлу зображення. Три основні формати файлів для цифрових фотографій – це *RAW*, *DNG*, *TIFF*, *GIF*, *PNG* та *JPEG*.

Кожен формат має певне призначення, яке виявляється кращим за решту. Кожен формат файлу зображення розроблений та оптимізований для певної мети. Деякі формати призначені для зберігання максимальної кількості деталей, а деякі оптимізовані для економії місця на диску та зменшення розмірів файлів. Деякі формати файлів зображень використовуються для зберігання фотографій, тоді як інші підходять для збереження векторів або графіки. На рис. 1.1 зображена схема операцій при виконання фотозйомки.

Файли *RAW* обробляються безпосередньо з датчика камери, тому вони не використовують стиснення. Оскільки вони не втрачають втрат, зображення надзвичайно якісні. Вони демонструють більше відтінків кольорів та кращий показ балансу білого, контрасту, експозиції тощо. Крім того, зміни, внесені у файли *RAW*, не руйнують. Змінюються лише метадані, які контролюють візуалізацію, але вихідні дані файлу залишаються недоторканими.

Очевидно, що на карті пам'яті або жорсткому диску можна зберегти менше зображень через величезний обсяг даних у файлі *RAW*. Крім того, немає широкого поширення стандартного формату *RAW*. Як таке, для відкриття файлів *RAW* може знадобитися спеціалізоване програмне забезпечення. Однак цей недолік було пом'якшено за допомогою комп'ютерних програм з відкритим кодом.

Багато фотографів, редакторів та художників-графіків використовують зображення *RAW* під час редагування. Однак зазвичай вони зберігають кінцевий результат у більш стислому форматі (швидше за все *JPEG*).

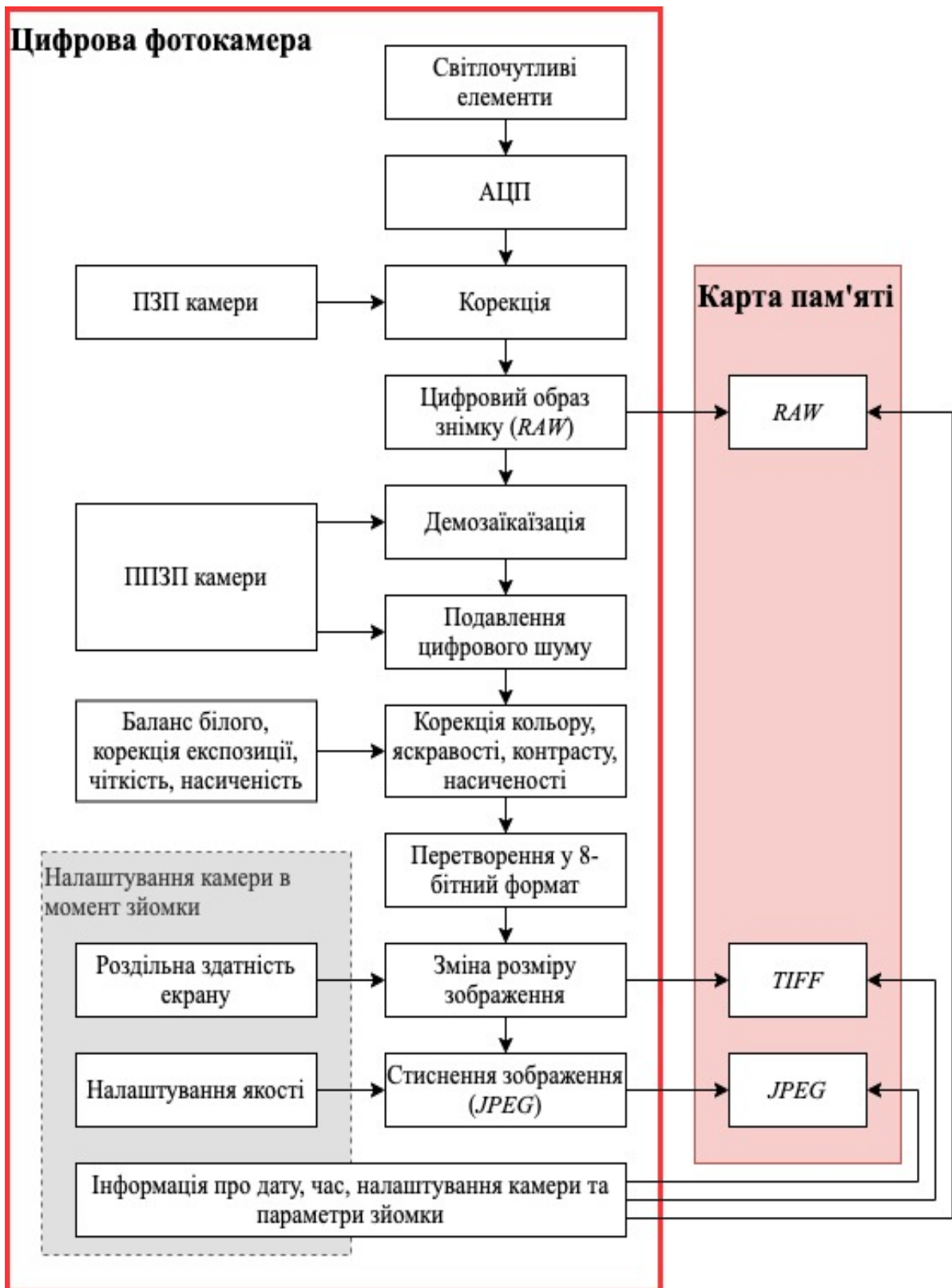


Рис. 1.1. Схема операцій, які виконує цифрова камера в момент зйомки

DNG – це формат без втрат, подібний до *RAW*. Однак, на відміну від *RAW*, який використовує певні формати на основі типів камер або виробників, *DNG* зберігає дані

зображень у сумісному загальному форматі. Фактично, розміри файлів *DNG* на 15-20 відсотків менші за розмір *RAW*-файлів без втрати якості.

Формат *DNG* містить інформацію про контрольну суму, яка використовується для сканування та запобігання пошкодженню файлів. Крім того, забезпечуються вдосконалення, нові та додаткові функції.

Однак перетворення *RAW*-файлів у *DNG* займає багато часу. Формат також видаляє нерозпізнані метадані з файлів *RAW*, що робить практично неможливим отримання таких даних із файлів *DNG* у майбутньому.

TIFF – це формат файлу без втрат, популярний серед художників-графіків, фотографів та видавців. Інформація зберігається шарами, що залежить від способу збереження файлу. *TIFF* підтримується різними програмами для редагування фотографій.

Файл *TIFF*, подібний до файлу *RAW*, надзвичайно великий. Крім того, зображення цього формату не можуть відображатись в мережі інтернет.

Більшість рухомих зображень використовують формат *GIF*. Він чудово підходить для графіки та зображень з анімацією. Веб-дизайнери та художники-графіки також часто використовують їх для створення чітко оформлених ілюстрацій, таких як прості логотипи та банери. Екстремальне стиснення даних значно зменшує розмір файлів *GIF*, що дозволяє швидко завантажувати.

Найбільшим недоліком файлів *GIF* є те, що стиснення даних робить їх надзвичайно втратними, тому для фотографій це не рекомендується.

PNG, спочатку створений як покращена заміна *GIF*. Формат підтримує стиснення даних без втрат, а це означає, що багато інформації зберігається під час збереження та повторного відкриття зображень. Файлами *PNG* можна також обмінюватися в мережі.

Однією з найкращих особливостей *PNG* є те, що вона має параметри прозорості. Застосовується стиснення даних, але не настільки, як у *GIF*-файлах, що дозволяє зберегти високоякісне зображення. Однак розмір, хоча і стислий, все ж перевищує розмір зображення *JPEG*.

JPEG, який використовується більшістю цифрових камер як формат за замовчуванням, є найпоширенішим типом файлів. Його алгоритм стиснення з втратами видаляє найдрібніші деталі, які найменш помітні, для того щоб заощадити місце. Однак ступінь стиснення регулюється, для того щоб була можливість обрати рівень якості вихідного зображення. Загалом стиснення достатньо, щоб забезпечити досить якісне зображення, не надто турбуючись про розмір файлу.

Недоліком файлів *JPEG* є те, що на відміну від файлів *PNG*, шари файлу *JPEG* згладжені. Це означає, що у зображень такого формату дуже обмежена можливість налаштування минулих редагувань. Гірше того, якщо кілька разів редагувати один і той же файл, відредаговане зображення може стати значно гіршої якості, ніж оригінал. Ця деградація зображення може спричинити головний біль, особливо якщо ви працюєте над форматами з втратами, такими як *JPEG*.

При порівнянні алгоритмів стиснення зображень з втратами, практично завжди обговорюються ступінь стиснення і якість картинки, що отримується, а ось час компресії чомусь вважається другорядним показником. Для більшості додатків цей підхід справедливий, але існують ситуації, коли час стиснення може бути дуже важливим. Наприклад, при стисненні великих масивів зображень або при роботі з обладнанням, здатним генерувати величезні обсяги даних, для яких потрібно компресія в режимі реального часу. Така ситуація при стисненні серій зображень від високошвидкісних відеокамер. Потік даних від типової швидкої камери може досягати величини 625 Мбайт в секунду (роздільна здатність 1280*1024, 8 біт, 500 кадрів в секунду) і вище. Існують високошвидкісні відеокамери, які в онлайні пишуть дані через фреймграббер *PCI-Express 2.0 x8* в оперативну пам'ять комп'ютера зі швидкістю 2,4 Гбайт в секунду. Для роботи з такими потоками вимога розпаралелювання алгоритму обробки даних не потрібно навіть обговорювати – це повинно бути за визначенням. Тому для вибору швидкого алгоритму стиснення були сформульовані наступні критерії:

- можливість розпаралелювання алгоритму як для кодування, так і для декодування;

- можливість стиснення зображень в 10-20 разів з втратами при прийнятній якості;
- обчислювальна складність алгоритму повинна бути якомога менше;
- розподіл завдання на максимально можливу кількість підзадач;
- мінімальні вимоги до розміру швидкої пам'яті для одного потоку обробки даних.

Цим вимогам алгоритм *JPEG* відповідає повністю.

Атрибути, які впливають на якість відео:

1. Стиснення, також називають кодуванням, передбачає електронну обробку цифрового відеозображення, щоб воно використовувало менше місця для зберігання та дозволяло передавати більше відео через канал передачі. Більшість методів стиснення призводять до втрати даних, які не підлягають відновленню. Стиснення можна використовувати для зменшення пропускної здатності, необхідної для передачі відео. Користувач повинен використовувати декодер для перегляду файлу, який був стиснутий (або закодований), інакше відео неможливо переглянути. На ринку існують відеокодера/декодера з відкритим вихідним кодом; однак існує багато власних систем, які потребують власного специфічного декодера.

2. Оцифровка – перетворення аналогового джерела відео в цифровий формат.

3. Покращення для аналізу. Доступно багато методів для підвищення чіткості певних частин відео. Прикладами є усереднення кадру, покращення краю та збалансування кольору.

4. Затримка. Відеозображення можуть затримуватися, що може призвести до неповного або неточного прийняття рішень у реальному часі.

Відео можна використовувати в реальному часі (наприклад, для моніторингу чи тактичного використання) або зберігати для подальшого аналізу. Неправильно збережене відео може бути непридатним через втрату або погіршення даних; наприклад, неналежне зберігання відео може бути критичним питанням для доказів та судових відеопрограм. Відео повинно зберігатися одночасно з високою і низькою бітовою швидкістю, щоб запобігти безповоротній втраті даних. Наприклад, деякі системи можуть забезпечувати потік із низькою швидкістю передачі даних для

бездротового моніторингу, одночасно зберігаючи версію з вищою швидкістю передачі даних локально. Для того, щоб зменшити швидкість передачі даних, зберігання також часто передують якесь обробка. Формат файлу можна змінити відповідно до різних носіїв, наприклад, кодування відео у *MPEG 2* для зберігання на *DVD* та відтворення за допомогою *DVD*-програвача. Серія змін або змін фізичного зберігання, внесені у відеофайл, називається “ланцюгом зберігання”. Ланцюжок зберігання даних слід ретельно контролювати та документувати, оскільки майже кожна зміна формату файлу призводить до втрати даних [26].

Чітке та якісне зображення відеозаписів залежить від якісного блоку відображення зображень, який допомагає точно передавати інформацію кінцевим користувачам. Вибір належного дисплея для конкретних відеопрограм кінцевого користувача може бути настільки важливим для досягнення цілі користувача щодо відеоматеріалів, як вибір відповідного обладнання камери.

Відео можна зберігати для можливого подальшого аналізу. Належне зберігання є критично важливим. Наприклад, якщо відео зберігається лише з дуже низькою швидкістю передачі даних, щоб заощадити місце на носії інформації, дані будуть безповоротно втрачені. Ті, хто звик зберігати документи для текстової обробки чи цифрові фотографії, можуть бути шоковані тим, як швидко відеофайли споживають місце для зберігання, яке може варіюватися від окремих відеокасет або одного жорсткого диска до систем із декількома магнітофонами або величезними масивами. Залежно від частоти кадрів, роздільної здатності та стиснення відео, користувачеві може знадобитися зберігати терабайт даних. Зберігання часто відбувається за допомогою якоїсь форми обробки, змінюючи формат файлу відповідно до різних носіїв, наприклад, кодуючи відео в *MPEG 2*, щоб його можна було зберігати на *DVD* і відтворювати за допомогою *DVD*-програвача. Серія змін або змін фізичного зберігання, внесені у відеофайл, називається “ланцюгом зберігання”.

Відео інформація представляється в формі відео кліпів (відео роликів), тобто наборів послідовно виводяться один за одним взаємопов'язаних зображень-кадрів (відеокадрів). Якщо швидкість появи відеокадрів перевищує частоту злиття миготіння (близько 25 кадрів), то у користувача створюється враження безперервного

руху об'єктів (*full-motion video* – повнокадрову відео). Цей принцип був реалізований в кіно і в даний час залишається основним при оцифрування відеозображення. Відеозображення можуть відтворюватися як в окремому вікні програми перегляду на частини екрану, так і в розмірах екрану (*full-screen video* – повноекранне відео).

Обсяг однієї секунди відеоролика з частотою 30 кадрів/с при роздільній здатності 640*480 пікселів, представлених 8-розрядним кодом (256 кольорів), становить 9 Мбайт. При використанні 24-розрядної кольорової палітри (16 млн. кольорів) і роздільній здатності 1280*1024 ця цифра збільшується до 114 Мбайт, в зв'язку з чим особливої актуальності набувають питання збереження і передачі інформації.

Проблема зберігання даних великого обсягу спростилася з появою дисководів *CD-ROM* і жорстких дисків великої місткості. Але їх ємності і швидкості передачі даних (1-3 Мбайт/с) все ще недостатні для використання зазначених накопичувачів для зберігання і обробки відеоінформації звичайними традиційними методами.

Необхідно скоротити обсяг збережених і переданих даних. Зменшивши роздільну здатність до 320*240 пікселів, кількість відтворюваних кольорів до 256, частоту зміни кадрів до 15, можна знизити необхідну швидкість передачі даних до 1 Мбайт/с. Але при цьому знижується якість зображення, хоча і не вирішується проблема зберігання і обробки відеоінформації повністю.

Тому до цих пір ведуться інтенсивні роботи зі створення відеоформатів, добре стискають відео зображення і дозволяють відтворювати відео інформацію в реальному часі без зниження якості зображень.

Методи, алгоритми та пристрої стиснення відеоданих об'єднуються під загальною назвою – *CODEC* (*Compressor-DECompressor*). Завдання відео кодека полягає в максимально можливому стисненні відеозображення і його подальшому відновленні (декомпресії) з високою швидкістю і мінімальними спотвореннями інформації. Як правило, методи стиснення відеоінформації засновані на пошуку надлишкової інформації і видаленні її з метою зменшення обсягу. При цьому можуть використовуватися різні алгоритми стиснення. Деякі засновані на внутрішньокадровому стисненні, тобто стискається інформація по кожному

окремому кадру; інші базуються на міжкадрового стисненні, при якому фіксується динаміка зміни інформації по кадрах. В цьому випадку наступні кадри формуються на основі інформації про зміну попереднього кадру.

Щоб віддання встигали виводитися на екран, необхідно забезпечити їх швидке декодування (відновлення). Багато відомих фірм розробили свої власні відеостандарти і файлові формати для них. Кожен стандарт має певний швидкодією і якістю.

Наприклад, фірмою *Apple* був запропонований стандарт *QuickTime*, реалізований на комп'ютерах фірми *Apple*. Існують програми, які дозволяють використовувати його на *IBM*-сумісних комп'ютерах (в середовищі *Windows*).

Відеоінформація формату *QuickTime* зберігається в файлах з розширенням *.*mov*. Для початку необхідно встановити програмний пакет *QuickTime*, до складу якого входять спеціальні програми і драйвери для власного програвача *QuickTime*. Ці програмні продукти дозволяють програвача в *Windows* (*Media Player*) відтворювати відео інформацію цього стандарту. У форматі *QuickTime* крім відеоінформації може зберігатися аудіоінформація звукового супроводу відеоданих. При частоті дискретизації 22,05 кГц, розрядності 8 біт, в режимі «моно» одна секунда аудіоінформації займає приблизно 20-30 Кбайт. Одна секунда відеозображення з таким же звуком займає 150-200 Кбайт (236*168 – 320*240, 15 кадрів в секунду).

У системах *Windows 3.xx* і вище поширений відеостандарт *AVI* (*Audio Video Interleaved*). Файли цього стандарту мають розширення *.*avi*. Доступ до них здійснюється через програму *Media Player*. В *AVI*-файлі застосовується міжкадрове стиснення. Воно містить один ключовий кадр, щодо якого формуються інші кадри відеозображення.

Сучасні драйвери і програми дозволяють відтворювати обидва формати і перетворювати файли одного формату в інший.

Стверджується, що *AVI*-файли можуть відтворюватися з частотою 24 кадр/с. Але в більшості випадків вони записуються з частотою 15-18, а іноді і 10 кадр/с, щоб зменшити займаний обсяг. *AVI*-файл тривалістю 1 з займає від кількох десятків до кількох сотень кілобайт (зазвичай 50-300 Кбайт). Гідність *AVI* полягає в тому, що для

програвання файлів цього стандарту не потрібно ніякого додаткового апаратного забезпечення, крім потужного високопродуктивного комп'ютера. Тому зазвичай для створення AVI-файлів доцільно використовувати спеціальну мікропроцесорну плату.

У 1992 р. група експертів по рухомих зображень (*Moving Pictures Experts Group*) розробила новий стандарт відео компресії – *MPEG*. Міжнародна організація стандартизації (*ISO*) прийняла його як стандарт компресії *MPEG-1* (*ISO 11172*). Трохи пізніше компанії *Philips* і *Sony* випустили універсальний стандарт відео компакт-диска – *Video-CD*. Він сумісний майже з усіма пристроями, які здатні читати *CD* і відтворювати відеозображення. До таких пристроїв відносяться *IBM PC* та *Apple Mac*.

Багато кіностудії стали тиражувати фільми в форматі *video-CD* (на дисках *CD-I* та *Video-CD*), який забезпечує запис не тільки високоякісної відео інформації, але і звуку, що розширює його можливості. Іноді на першій доріжці диска *Video-CD* поміщаються спеціальні програми і драйвери, які необхідні для його перегляду на програвачах *CD-I*. Завдяки високому ступеню стиснення даних на одному диску формату *Video-CD* тривалість повноекранного фільму може досягати 72 хв.

Відеозображення може поступатися за якістю зображення на високоякісних відеомагнітофонах. Це пояснюється тим, що швидкість зчитування даних на *CD-I* і *Video-CD* становить 1,115 Мбіт/с, що відповідає одношвидкісним дисководам *CD-ROM*.

Для передачі телепрограм по каналах зв'язку використовується формат *MPEG-1*. Він має роздільну здатність 352*288 точок для стандарту *PAL*; 352*240 точок для стандарту *NTSC* і кіно. Частота кадрів: 25 (*PAL*), 29,97 (*NTSC*), 23,976 (кіно). Швидкість передачі даних 384 Кбіт/с – 5 Мбіт/с.

Відеоінформацію в форматі *MPEG-1* можна переглядати без спеціальної плати – декодера, за допомогою програмних програвачів на потужних комп'ютерах з процесорами *Pentium* (*Pentium-133*, *Pentium-166* і вище) і високопродуктивними відеоадаптерами.

Порівняно недавно був створений новий, більш досконалий стандарт для високоякісного відео – *MPEG-2*. Даний стандарт передбачає стиснення відеоданих при потоці цифрової інформації від 3 до 10 Мбіт/с і забезпечує дозвіл 704*576

пікселів. *MPEG-2* в основному використовується для трансляції телепрограм через супутники зв'язку. На основі цього стандарту прийнятий міжнародний стандарт цифрового мовлення (*DVB*).

Обробка відео інформації включає кілька етапів: оцифровку, створення відеороликів або відеокліпів і їх подальше відтворення.

Оцифровка відеоролика, на відміну від його відтворення, здійснюється не в реальному масштабі часу, але тим не менше і тут багато що залежить від використовуваних технологій і підтримують їх програмних засобів.

У найпростішому випадку процедуру оцифровки відеоінформації реалізує відеокамера, підключена до комп'ютера. Відеокамера включається в режим відтворення. Для проведення оцифровки використовується одна з програм оцифровки відеоданих, наприклад *Pro MultiMedia*. З її допомогою створюється файл формату *AVI* на жорсткому диску. Під цей файл задаються відповідне ім'я і передбачуваний обсяг файлу. Після запуску програми одночасно з запуском відтворення відеозображень у відеокамері починається процес оцифровки відеоданих. Для зменшення обсягу відеофайлу тією самою програмою його можна перевести в формат *MPEG*, що скорочує його обсяг (наприклад, з 4 Гбайт до 300 Мбайт). Подальше програвання відеоролика може здійснюватися стандартним додатком *Windows – Media Player*.

У більш складних випадках використовується монтаж відеокліпу відповідно до розробленого сценарієм. Він передбачає роботу з окремими кадрами або їх послідовностями. Сьогодні може використовуватися лінійний і нелінійний монтаж.

При лінійному монтажі відеоінформації вихідний матеріал знаходиться на відеокасеті. Для того щоб отримувати доступ до певного місця стрічки, необхідно весь час перемотувати плівку в пошуках необхідного кадру. Для цих цілей призначена спеціальна «монтажна» апаратура.

В даний час при створенні електронних видань широкого поширення набули технології виконання відеомонтажу та редагування оцифрованого відеоматеріалу всередині комп'ютера. Така технологія отримала назву нелінійного монтажу, оскільки забезпечила операторам пряме звернення до необхідних кадрів або фрагментами відеоролика, записаним на жорсткий диск комп'ютера.

У разі нелінійного монтажу весь матеріал попередньо оцифровується і розміщується в дисковій пам'яті (на вінчестері), що забезпечує довільний миттєвий доступ до необхідного кадру.

Стандартна цифрова система, подібна аналоговому монтажному комплексу, побудована по однопотоковій архітектурі. Це означає, що при розрахунках використовується тільки одна копія вихідного відеоролика (AVI-файл).

В разі більш складних процедур роботи з відеоматеріалом виникає необхідність сформулювати і задіяти другу копію цифрового відео (або її частини). Таким чином, для створення будь-якого мікшера переходу або ефекту між двома відеокліпами в оперативній пам'яті комп'ютера необхідно одночасно містити кадри як закінчується, так і починається кліпів, послідовно завантажуючи їх з жорсткого диска, декодуючи і виробляючи розрахунок нових кадрів результуючого кліпу. Потім здійснюються зворотна компресія (стиснення) даних і запис на диск. Цей процес називають рендеринг (*rendering*).

Обробка відеоінформації вимагає високої швидкодії використовуваних обчислювальних структур. Практично подібні обчислення вимагають виконання мільярдів спеціалізованих операцій над пікселями зображень. Очевидно, що швидкість їх виконання істотно залежить від швидкодії процесора.

Оцифровані фрагменти відеозаписів перед записом на диск піддаються компресії і представляються у форматі *MPEG*. Збереження інформації може супроводжуватися її втратою.

Якщо після завершення монтажу необхідно записати на відео стрічками готовий відеофрагмент, то необхідна згадана вище карта введення-виведення відеоінформації. Сьогодні існує велике різноманіття таких карт.

До пристроїв для роботи з відео сигналами на комп'ютерах *IBM PC* можна віднести пристрої для введення і захоплення відео послідовностей (*capture-play*), фрейм-грабери, TV-тюнери, перетворювачі сигналів *VGA-TV* і *MPEG*-плеєри. Слід зазначити, що їх функціональні можливості виходять далеко за рамки сфери електронних видань.

Відеоінформація може відтворюватися програмами типу *Media Player* одночасно зі звуком. В цьому випадку для монтажу, як правило, використовуються програми, що забезпечують комплексну обробку інформації – відео та аудіо. До таких програмних засобів відносять *Adobe Premiere*, *Ulead Media Studio Pro* та інші.

Майже кожна зміна формату файлу призводить до втрати даних, тому ланцюг зберігання даних слід ретельно контролювати та документувати.

Якщо очевидно, що необхідне ущільнення, то потрібно вирішити, який тип технології слід використовувати. Навіть якщо це не зрозуміло з першого погляду, ущільнення може призвести до деяких переваг і може запропонувати додаткові функціональні можливості через збережені ресурси. Під час вибору конкретної технології ущільнення є важливими наступні критерії [15]:

1. Вимірювання даних: 1-*D*, 2-*D*, 3-*D*.
2. Ущільнення з втратами чи без втрат.
3. Необхідна якість.
4. Складність, швидкість, затримка алгоритму.
5. Апаратне або програмне рішення: швидкість і ціна.
6. Стійкість до помилок.
7. Який об'єм даних.

8. Необхідні стандарти: створюється закрита система, яка не призначена для взаємодії з іншими системами чи необхідно обмінюватися даними по багатьох системах.

9. Багаторазове кодування/декодування: повторне застосування стиснення з втратами, наприклад у редакції відео.

10. Адаптивність: очікуються дані з різноманітними властивостями чи можна попередньо адаптуватися до певних властивостей.

11. Перекодування: чи можна змінювати типи даних (наприклад, *MJPEG* на *MPEG*).

Враховуючи особливості алгоритмів стиснення, складемо їх порівняльну таблицю 1.1. В таблиці алгоритми порівнюються за такими характеристиками: клас зображень, для яких його бажано використовувати, симетричність алгоритму,

особливості роботи, а також графічні формати, в яких для стиснення застосовується певний алгоритм. Для порівняння розглядаються три популярні алгоритми, які вважаються базовими для систем стиснення, а саме: *RLE*, алгоритм Хаффмана та *LZW* [16].

Таблиця 1.1

Порівняння алгоритмів

Назва алгоритму	<i>RLE</i>	Алгоритм Хаффмана з фіксованою таблицею	<i>LZW</i>
1	2	3	4
Клас зображень	Зображення з невеликою кількістю кольорів та великими областями з одним кольором. Ділова графіка.	Використовується як етап компресії в більш складних системах.	Орієнтований на 8-бітні зображення, що побудовані на комп'ютері.
Симетричність	Приблизно одиниця	Два (потребує два проходи масивом стиснених даних)	Майже симетричний
Характерні особливості	Швидкий, не потребує додаткової пам'яті при роботі.	Простий у реалізації, не збільшує розмір вихідних даних в найгіршому випадку	Універсальний, ситуація збільшення розміру майже не виникає

1	2	3	4
Формати	<i>PCX, TIFF, BMP</i>	<i>TIFF</i>	<i>TIFF, GIF</i>

Останнім часом зображення та ілюстрації стали використовуватися повсюдно. Проблема, пов'язана з їх великим розміром, з'явилася при роботі і на робочих станціях, і на персональних комп'ютерах. Так, одне повноекранне (640*480) повнокольорове (24 біта на точку) зображення займає майже мегабайт. З огляду на те, що зазвичай використовується кілька ілюстрацій, і те, що вони часто бувають набагато більшого розміру, тримати їх в упакованому вигляді стає накладно. В останні роки вирішення цієї проблеми приділяється досить серйозну увагу. Розроблена велика кількість різних алгоритмів архівації графіки: використовувалися як видозмінені універсальні, так і абсолютно нові алгоритми, орієнтовані тільки на зображення. Більш того, були розроблені алгоритми, орієнтовані тільки на конкретний клас зображень.

1.2. Системний аналіз засобів реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА

Системний аналіз забезпечує суворий підхід до техніки прийняття рішень. Він використовується для дослідження альтернатив і включає моделювання та імітацію, аналіз витрат, аналіз технічних ризиків і аналіз ефективності.

Системний аналіз виник в епоху розробки комп'ютерної техніки. Успіх його застосування при вирішенні складних завдань визначається сучасними можливостями інформаційних технологій. М.М. Моїсєєв призводить, за його висловом, досить вузьке визначення системного аналізу: «Системний аналіз – це сукупність методів, заснованих на використанні ЕОМ і орієнтованих на дослідження складних систем – технічних, економічних, екологічних і т.д. Результатом системних досліджень є, як правило, вибір цілком певної альтернативи: плану розвитку регіону, параметрів конструкції і т.д. Тому витoki системного аналізу, його методичні

концепції лежать в тих дисциплінах, які займаються проблемами прийняття рішень: теорії операцій і загальної теорії управління». Іноді кажуть, що системний аналіз – це методика, яка поліпшує втручання в проблемну ситуацію. Таким чином, системний аналіз – це дисципліна, що займається проблемами прийняття рішень в умовах, коли вибір альтернативи вимагає аналізу складної інформації різної фізичної природи.

Представницький рівень (*Presentation layer*) забезпечує перетворення протоколів і шифрування/дешифрування даних. Запити програм, наданих з прикладного рівня, на рівні уявлення перетворюються в формат для передачі по мережі, а отримані з мережі дані перетворюються в формат додатків. На цьому рівні може здійснюватися стиснення/розпакування або кодування/декодування даних, а також перенаправлення запитів іншому мережевому ресурсу, якщо вони не можуть бути оброблені локально.

Представницький рівень зазвичай являє собою проміжний протокол для перетворення інформації з сусідніх рівнів; забезпечує форматування і перетворення коду. Форматування коду використовується для того, щоб гарантувати додатку надходження інформації для обробки, яка мала б для нього сенс. При необхідності цей рівень може виконувати перетворення з одного формату даних в інший.

Стандарти представницького рівня також визначають способи представлення графічних зображень. Для цих цілей може використовуватися формат *PICT* (*Pairwise Independent Combinatorial Testing*) – формат зображень, який застосовується для передачі графіки *QuickDraw* між програмами. Іншим форматом уявлень є графічний формат файлів зображень *TIFF*, який зазвичай використовується для растрових зображень з високою роздільною здатністю. Наступним стандартом представницького рівня, який може використовуватися для графічних зображень, є стандарт, розроблений об'єднаною експертною групою по фотографії (*Joint Photographic Expert Group*); в повсякденному користуванні цей стандарт називають *JPEG*.

Існує інша група стандартів представницького рівня, яка визначає уявлення звуку і кінофрагментів. Сюди входять інтерфейс електронних музичних інструментів (*Musical Instrument Digital Interface, MIDI*) для цифрового представлення музики,

розроблений експертною групою з питань кінематографії стандарт *MPEG*, який використовується для стиснення і кодування відеороликів на компакт-диск, зберігання в оцифрованому вигляді і передачі зі швидкостями до 1,5 Мбіт/с, і *QuickTime* – стандарт, що описує звукові та відео елементи для програм, які виконуються на комп'ютерах *Macintosh* і *PowerPC* [27].

Нещодавні досягнення в обробці зображень, технології радіочастот та мікро-електромеханічних систем призвели до значного розвитку передачі зображення через бездротові сенсорні мережі (БСМ). У цьому сценарії бездротові сенсорні мережі є самоорганізуючими бездротовими системами вбудованих пристроїв, розгорнутими для отримання, розподіленої обробки в режимі реального часу, зберігання, співвіднесення та об'єднання потоків зображень, що походять з неоднорідних джерел. Основною характеристикою таких мереж є вузли з обмеженими ресурсами. З огляду на серйозні обмеження ресурсів, вузли обмежені енергією, можливостями зберігання та обчислювальною потужністю. Ці обмеження ресурсів спричиняють серйозні труднощі для передачі зображення. Отже, передача зображень у БСМ представляє головну проблему, яка порушує питання, пов'язані з її представленням, зберіганням та передачею. Дані зображення мають об'ємний розмір і містять велику кількість надмірностей, що призводить до проблем при розробці енергоефективних схем передачі зображень через БСМ. Для цього дослідження передача зображення буде здійснюватися набагато більше, ніж на одному пакеті. Всі ці пакети енергоємні. Для економії енергії зв'язку зображення стискаються з метою зменшення кількості переданих бітів шляхом видалення просторової та спектральної надмірності [24].

Часто при дослідженні місцевості використовують безпілотні літальні апарати (БПЛА). Автономні безпілотні літальні апарати відносять до керованих без екіпажу літальних апаратів. Проте, до БПЛА також відносять керовані ракети різного призначення. Зазвичай безпілотні літальні апарати можуть бути бойовими та розвідувальними, але зараз досить часто можна зустріти БПЛА, які застосовуються для аерофотозйомки, патрулювання, геодезичних пошуків та моніторингу об'єктів. Керування БПЛА відбувається дистанційно за допомогою пункту дистанційного

керування [1]. Також актуальним завданням БПЛА є передача даних корисного навантаження літального апарату на наземний комплекс управління (НКУ).

Стиснення – подання інформації в більш ефективному вигляді, що несе за собою зменшення обсягу даних (як правило). В основному алгоритми стиснення використовують властивості графічних даних [40]:

- надмірність – групи однакових символів;
- передбачуваність – часто повторювані однакові комбінації символів;
- необов’язковість – дані, мало впливають на людське сприйняття.

Оцінки методів стиснення:

- ступінь стиснення – відношення обсягу стисненого файлу до обсягу вихідного файлу;
- точність відновлення – середньоквадратичне відхилення значень пікселів стисненого зображення від оригіналу;
- швидкість компресії і декомпресії – сумарний час стиснення і відновлення;
- симетричність – відношення часу стиснення до часу відновлення.

Стиснення без втрат – кодування інформації меншим числом бітів без її спотворення (рис.1.2). Коли ми говоримо про стиснення зображення без втрат, то маємо на увазі, що існує алгоритм, зворотний алгоритму стиснення, що дозволяє точно відновити вихідне зображення [40].

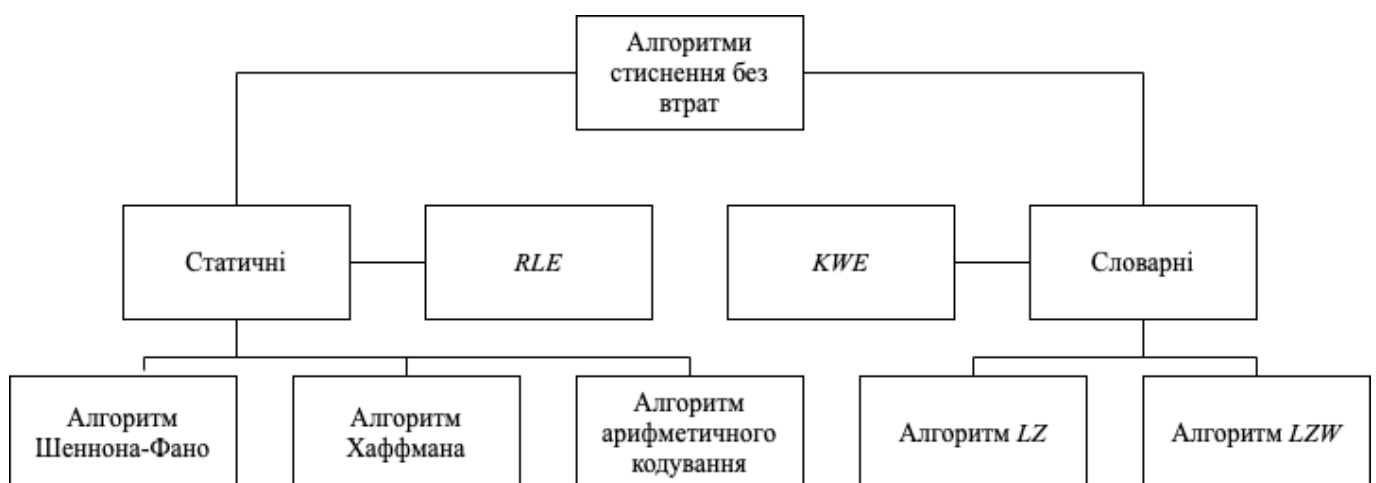


Рис. 1.2. Алгоритми стиснення без втрат

Стиснення з втратами – кодування інформації з втратою тієї її частини, яка є не суттєвою для представлення даних (рис. 1.3). Методи стиснення з втратами якості зображень використовують особливості людського зору.



Рис. 1.3. Алгоритми стиснення зображень з втратами

Можливі два варіанти послідовності кодування блоків кольорового зображення. За першим варіантом спочатку кодуються всі блоки пікселів сигналу Y , потім – всі блоки пікселів сигналу C_R , а потім – всі блоки сигналу C_B . За другим варіантом, наприклад, в разі формату 4:2:0, спочатку кодуються чотири блоки Y , що утворюють матрицю 2×2 , потім відповідний їм один блок C_R , потім – один блок C_B , потім наступні чотири блоки Y і т.д.

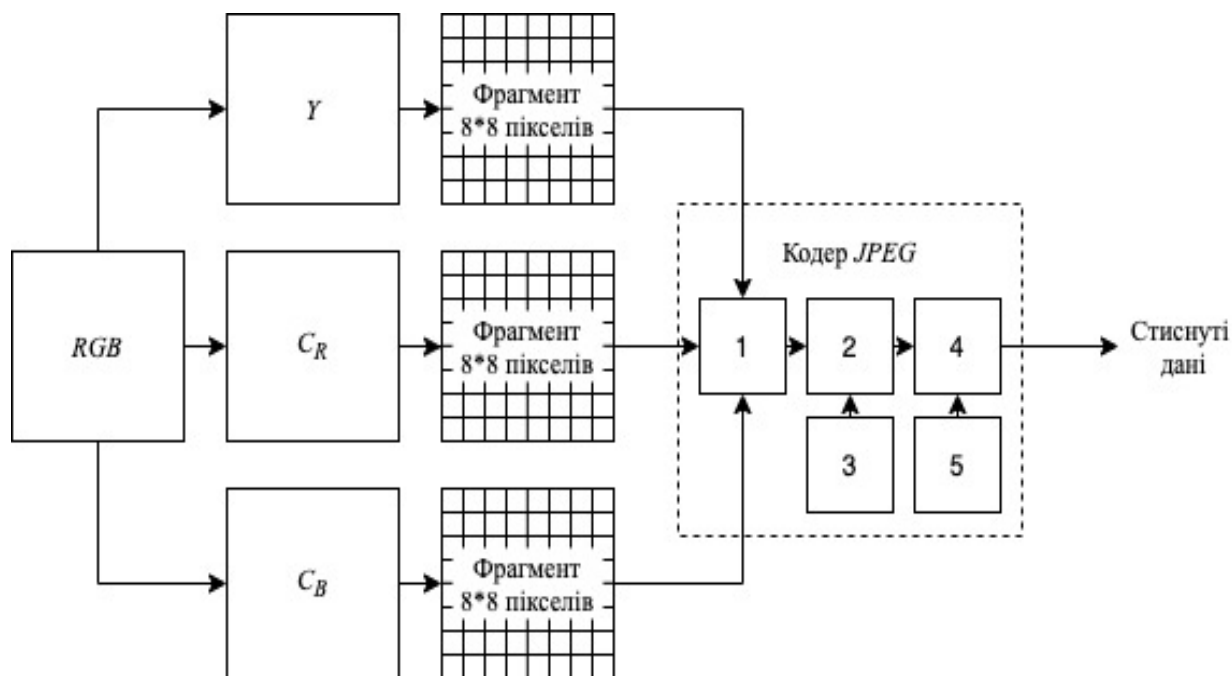


Рис. 1.4. Структурна схема кодування кольорових зображень за стандартом *JPEG*

Позначення операцій на рис. 1.4: 1 – дискретне косинусне перетворення, 2 – квантувач, 3 – таблиця квантування Q , 4 – кодер Хаффмана, 5 – таблиця кодів [17].

В основі дискретного косинусного перетворення лежить перетворення Фур'є. Перетворення Фур'є є одним з кращих методів аналізу спектра сигналу. Єдина «проблема» полягає в тому, що цей алгоритм працює в припущенні, що сигнал є періодичним і нескінченним. В реальності таких сигналів не існує, тому в 60-х роках минулого століття для спектрального аналізу сигналів з кінцевої базою в часі або просторі був запропонований різновид перетворення Фур'є – швидке перетворення Фур'є (*Fast Fourier Transformation, FFT*). А дискретне косинусне перетворення, в свою чергу, базується на швидкому перетворенні Фур'є [31].

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) і дискретне косинусне перетворення (ДКП) зазвичай використовуються алгоритми для представлення довільного сигналу в термінах ортонормальних основ. У випадку ДПФ ці базисні функції є косинусом і синусоїдами (в складній формі), де ДКП залежить від косинусних сигналів для представлення сигналу. Незважаючи на те, що ДКП більше використовується, ніж ДПФ, підхід, який вони використовують для представлення сигналу, є подібним, але вони відрізняються лише за основними функціями.

ДПФ намагається представити сигнал у такому вигляді:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2j\pi kn/N},$$

де $k \in \mathbb{Z}$ і $e^{\frac{-2j\pi kn}{N}}$ може бути представлено формулою Ейлера в наступній формі:

$$e^{\frac{-2j\pi kn}{N}} = \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j\sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right).$$

В ДКП використовуються тільки косинуси:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cos\left[\frac{\pi}{N}\left(n + \frac{1}{2}\right)k\right],$$

де $k = 0, \dots, N-1$.

Оскільки основні функції є реальними косинусними функціями в ДКП, сигнали, які ми намагаємося стиснути за допомогою ДКП, також повинні бути реальними, де ДПФ також може представляти складні сигнали. Експериментально, а також теоретично (з кращими граничними умовами), перетворення ДКП дає менші

коефіцієнти для природних зображень і аудіо. Таким чином, для цілей стиснення, ДКП є методом для ряду додатків, включаючи *JPEG* і стиснення втрат для аудіо [2].

За допомогою ДКП вхідний вектор відліків перетворюється у вектор спектральних коефіцієнтів. Перетворення реалізується як множення квадратної косинусної матриці на вхідний вектор-стовпець [2]:

$$X(k) = A(k, n) * x(n).$$

Формула для елемента матриці, розташованого в n -стовпців k -рядка, має вигляд:

$$A(k, n) = \varepsilon(k) * \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2N - 1)(k - 1)\right),$$

$$\text{де } k = 1 \dots N, n = 1 \dots N, \varepsilon(k) = \begin{cases} 1/\sqrt{N}, & k = 1 \\ \sqrt{2/N}, & k = 2 \dots N. \end{cases}$$

Загальне вираження для розрахунку ДКП має вигляд:

$$X(k) = \sum_{n=1}^N x(n) * \left[\varepsilon(k) * \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2N - 1)(k - 1)\right) \right].$$

Для обрахування значення елементів косинусної матриці вхідного вектору довжиною в 64 елементи, необхідно 64^2 ітерації. Тобто, на обрахування одного елемента матриці необхідно 64 ітерації. Також ще 64^2 ітерації необхідно для обрахування вектору спектральних коефіцієнтів.

Отримана послідовність двійкових чисел піддається ентропійному кодуванню, при якому найчастіше застосовується метод Хаффмана, який полягає в побудові такого коду зі змінною довжиною кодового слова, що частіше зустрічається символам ставляться у відповідність коротші кодові слова, а рідше зустрічається символам – довші кодові слова. Це дозволяє додатково зменшити кількість двійкових символів без втрати інформації, що маємо після квантування коефіцієнтів ДКП. Іноді замість кодування по Хаффману може використовуватися інший вид ентропійного кодування – арифметичне кодування. Відтворення вихідного зображення (декодування) проводиться в зворотному напрямку, яке показано на рис. 1.5 [17].

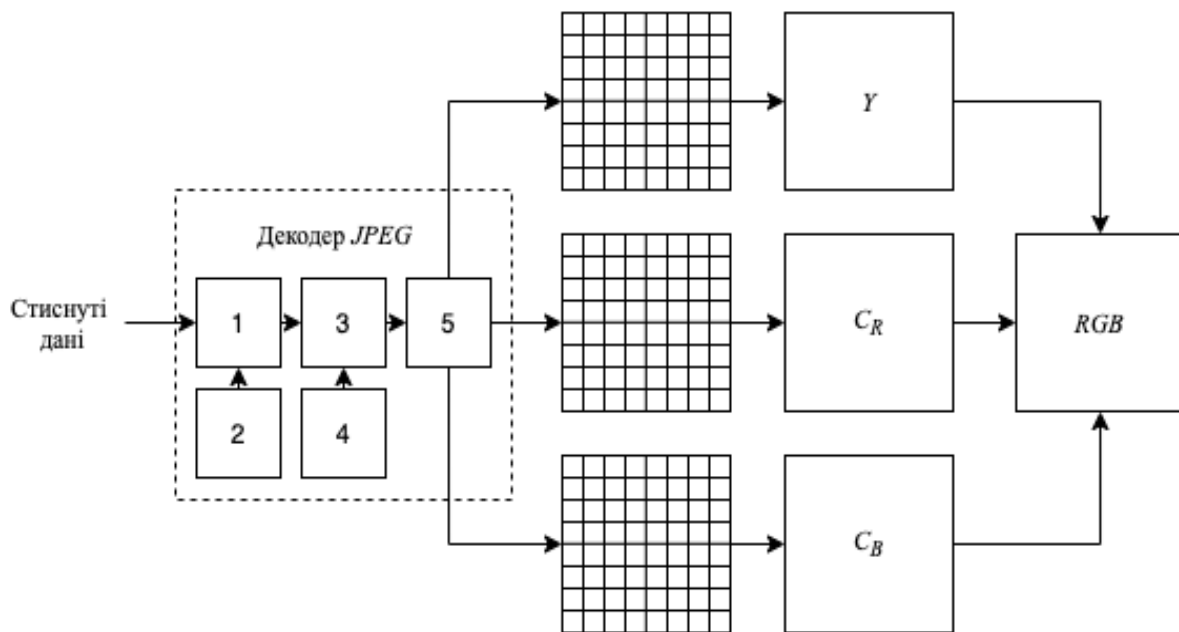


Рис. 1. 5. Структурна схема декодування кольорових зображень за стандартом *JPEG*

З рис. 1.5 можна визначити такі операції: 1 – декодер Хаффмана, 2 – таблиця кодів, 3 – деквантувач, 4 – таблиця деквантування Q , 5 – зворотнє дискретне косинусне перетворення.

У стандарті стиснення зображень *JPEG* кожен коефіцієнт ДКП квантується за допомогою ваги, яка залежить від частот для цього коефіцієнта.

Негативною стороною алгоритму *JPEG* є те, що при великих значеннях ступеня стиснення, зображення розпадається на окремі блоки 8×8 , проявляється так званий ефект Гіббса – ореоли по межах різких переходів. Слід також зазначити, що часто на відновлених зображеннях горизонтальні і вертикальні смуги абсолютно не видно і проявляються лише у вигляді муарового візерунка.

Висновки за розділом

Як правило, при обробці відео відеокадри зазвичай представляються у вигляді матриці. Для спрощення обробки значення пікселів безпосередньо витягуються як функції. Відеокадр спочатку знімається до меншої піктограми, щоб зменшити просторову надмірність разом із шумами, а потім піктограма проектується у простір великих розмірів і стає точкою. Таким чином, різні відеокліпи з різними людськими

діями, що виконуються різними суб'єктами в різних умовах формування зображення, охоплюють простір зі складною структурою та взаємозв'язками. Просторові риси у кліпах зберігаються у векторній формі, тоді як часові також включаються в траєкторію.

Дискретно-косинусне перетворення являє собою різновид перетворення Фур'є і має зворотне перетворення. У ДКП зображення розглядається як сукупність просторових хвиль, для яких осі X і Y проводяться паралельно поздовжньої і поперечної осей зображення, а по осі Z відкладається значення кольору відповідного пікселя зображення. За допомогою дискретно-косинусного перетворення алгоритм стиснення *JPEG* здійснює перехід від представлення картинки у вигляді сукупності просторових хвиль до її спектральної інтерпретації.

Стиснення будь-якого зображення за допомогою ДКП можна виконати таким чином:

1. Розділити його на k блоків пікселів розміром $n*n$ (зазвичай $8*8$).
2. Застосувати ДКП до кожного з блоків, тобто подати кожен блок у вигляді лінійної комбінації 64 базисних блоків.
3. Зробити квантування кожного вектора коефіцієнтів незалежно один від одного. Отриманий квантований вектор записати у стиснений файл. Декодер зчитує 64 квантованих вектори коефіцієнтів, використовує їх для побудови вагових векторів та застосовує зворотне ДКП до кожного вагового вектора для реконструкції 64 пікселів блока. Основна мета полягає у знаходженні оптимального компромісу між високим рівнем стиснення, тобто якістю зображення без особливо помітних втрат.

Переваги та недоліки таких методів:

- закруглення гострих кутів зображення (випадкове «розмивання» гострих країв зображень);
- кодування – дуже трудомісткий процес, тільки останнім часом вдалося здійснити процес кодування програмно, а не апаратно;
- застосування ДКП на блоці з N вибірок задає $N*N$ операцій множення і додавання.

Однак, завдяки рекурсивній структурі матриці, ДКП потрібна набагато менша кількість математичних операцій, а саме $N \log (N)$. Ця властивість робить ДКП методом, який застосовується на сучасних математичних процесорах персональних ЕОМ [18].

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЇ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРА БПЛА

2.1. Способи вибору ефективних інструментів для реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА на основі показників критеріїв якості

Багатокритеріальне програмування, здійснене з використанням процесу аналітичної ієрархії, є методом прийняття рішень у складних середовищах, в якому багато змінних і критеріїв враховуються при визначенні пріоритетів та виборі альтернатив або проектів [9].

Під терміном «імітаційне моделювання» зазвичай мають на увазі обчислення значень деяких характеристик розвивається в часі процесу шляхом відтворення перебігу цього процесу на комп'ютері за допомогою його математичної моделі, причому отримати необхідні результати іншими способами або неможливо, або вкрай важко. Відтворення перебігу процесу на комп'ютері за допомогою математичної моделі прийнято називати імітаційним експериментом [12].

Імітаційне моделювання завжди використовується для прийняття рішень щодо модельованої системи, але перш ніж представляти результати моделювання аналітики, їх потрібно перетворити таким чином, щоб вони мали наочний та інформативний вигляд. Більшість програмних засобів імітаційного моделювання відображають результати моделювання у формі стандартного звіту, в якому зібрані статистичні дані, що стосуються характеристик системи. Наприклад, завантаженості ресурсів, довжини черг, часу перебування вимог у чергах і пристроях, а також гістограми розподілів вихідних величин та ін. Крім стандартних статистичних даних користувач може включити у звіт необхідні йому дані й надрукувати їх у потрібному для нього вигляді. Враховуючи те, що кількість прогонів імітаційної моделі зазвичай

дуже велика, досягти високої наочності даних можна, якщо спочатку накопичити їх в окремій базі даних, а потім надати користувачу засоби для доступу до даних та перетворення їх у зручний для виконання аналізу вигляд. Такий спосіб дає можливість використовувати всі існуючі програмні засоби статистичної обробки інформації [13].

Імітаційне моделювання у більшості випадків використовується для прийняття рішень під час проектування структури складної системи або для пошуку оптимальних значень її параметрів. Можна визначити кілька основних напрямків прийняття рішень за результатами моделювання:

- пошук найкращих стосовно деякого критерію ефективності значень параметрів складних систем управління;
- пошук оптимального значення критерію ефективності системи;
- порівняння альтернативних варіантів структури системи та визначення найкращого з них;
- моделювання аварійних ситуацій за сценарієм типу «що буде, якщо..» [13].

У разі оптимізації управлінських рішень в умовах невизначеності щодо модельованої системи зазвичай існує єдиний, як правило, економічний, критерій, що підлягає оптимізації. Проте отримане за допомогою математичної моделі рішення рідко є найкращим з будь-якого погляду і потребує коригування для узгодження з реальною ситуацією. Для цього необхідно вносити зміни у структуру моделі й поновлювати пошук нових найкращих варіантів. Тобто сама процедура пошуку оптимальних рішень є ітераційною і включає ітераційні методи налаштування моделі. Для такої процедури пошуку, критерій не може бути виражений явною функцією від вхідних змінних і параметрів системи. Скоріше, вона передбачає наявність критерію якості роботи системи, значення якого можна знайти лише під час прогонів імітаційної моделі. Загальну схему імітаційного моделювання за підтримки методів оптимізації наведено на рис. 2.1 [13].

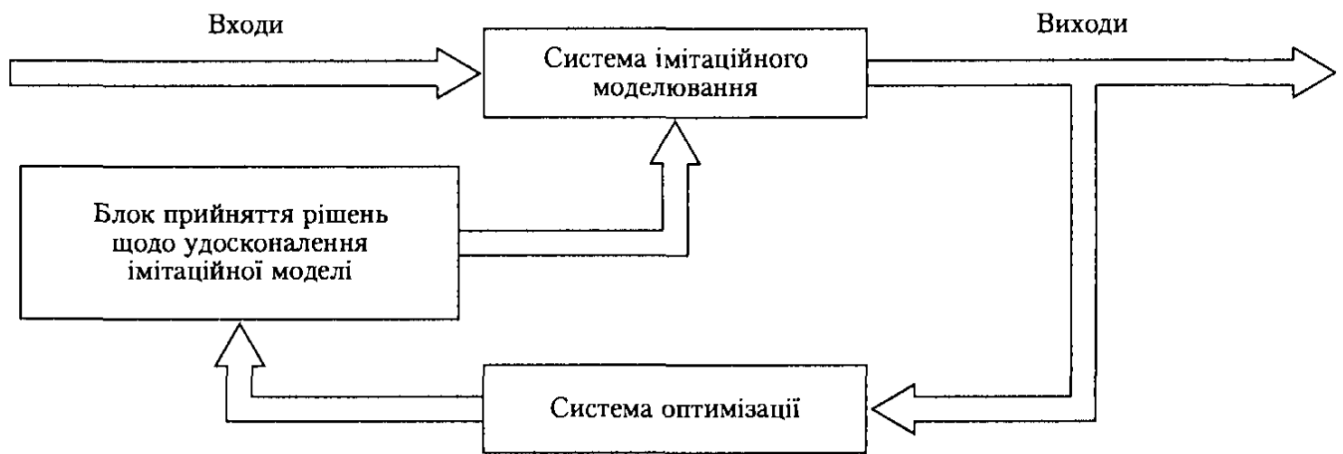


Рис. 2.1. Схема імітаційного моделювання за підтримки методів оптимізації

Метод аналізу ієрархій (MAI) був розроблений в 1970-х Томасом Л. Сааті і з тих пір широко вивчений і в даний час використовується для прийняття рішень у складних сценаріях, коли люди спільно приймають рішення, коли сприйняття, судження та наслідки людини мають довгострокові наслідки [9].

Застосування MAI починається з проблеми, яка розкладається на ієрархію критеріїв, щоб було легше проаналізувати та порівняти незалежно. Після побудови цієї логічної ієрархії особи, що приймають рішення, можуть систематично оцінювати альтернативи, проводячи порівняння в парі для кожного з обраних критеріїв. Це порівняння може використовувати конкретні дані з альтернатив або людських суджень як спосіб введення суміжної інформації [9].

Метод аналізу ієрархій (*Analytic Hierarchy Process – AHP*), або підхід аналітичної ієрархії передбачає декомпозицію проблеми на прості складові частини і обробку суджень особи, яка приймає рішення. В результаті визначається відносна значимість досліджуваних альтернатив для всіх критеріїв, які перебувають в ієрархії. Відносна значущість виражається чисельно у вигляді векторів пріоритетів. Отримані таким чином значення векторів є оцінками у шкалі відносин і відповідають так званим жорстким оцінкам [34].

Підхід розроблений виключно для обробки експертних оцінок. За словами Сааті, метод аналізу ієрархій «являє собою теорію, яка базується на експертних оцінках і судженнях індивідуальних учасників або груп».

Розроблена Сааті процедура підтримки прийняття рішень була названа *Analytic Hierarchy Process*, або в перекладі – метод аналізу ієрархій (МАІ). Ієрархія – певний тип системи, заснований на припущенні, що елементи системи можуть групуватися в структуру, яку в теорії графів називають деревом. Ієрархічний підхід полягає в декомпозиції розглянутої сукупності на групи (або рівні, кластери), які далі можуть розділятися на менші кластери і т.д.

Очевидна величезна сфера додатків ієрархічної класифікації. Це найбільш потужний метод класифікації, що використовується людиною для приведення в порядок досвіду, спостережень та інформації.

Переваги ієрархій:

- ієрархічне представлення системи дозволяє аналізувати вплив зміни пріоритетів на верхніх рівнях на пріоритети елементів нижніх рівнів;
- ієрархічна побудова систем за допомогою збірки модулів набагато ефективніше, ніж з'єднання окремих елементів в систему в цілому;
- ієрархії стійкі і гнучкі: вони стійкі в тому сенсі, що малі зміни викликають малий ефект, а гнучкі – в тому сенсі, що додавання до добре структурованої ієрархії не руйнують її характеристик;
- ієрархії забезпечують моделювання структури і функцій системи на нижніх рівнях і огляд діючих суб'єктів і їх цілей на вищих рівнях.

Ієрархічні структури, які використовуються в МАІ, являють собою інструмент для якісного моделювання складних проблем. Вершиною ієрархії є головна мета ОПР (рис. 2.2) [28].

МАІ перетворює порівняння, які є найчастіше емпіричними, у числові значення, які обробляються і порівнюються далі. Вага кожного фактора дозволяє оцінити кожен з елементів всередині визначеної ієрархії. Ця можливість перетворення емпіричних даних у математичні моделі є головним відмінним внеском техніки МАІ, якщо її порівняти з іншими методами порівняння.

Після того, як було проведено всі порівняння та встановлено відносні ваги між кожним з критеріїв, що підлягають оцінці, розраховується числова ймовірність кожної альтернативи. Ця ймовірність визначає ймовірність того, що альтернатива

повинна виконати очікувану мету. Чим вища ймовірність, тим більше шансів у альтернативи задовольнити кінцеву мету.

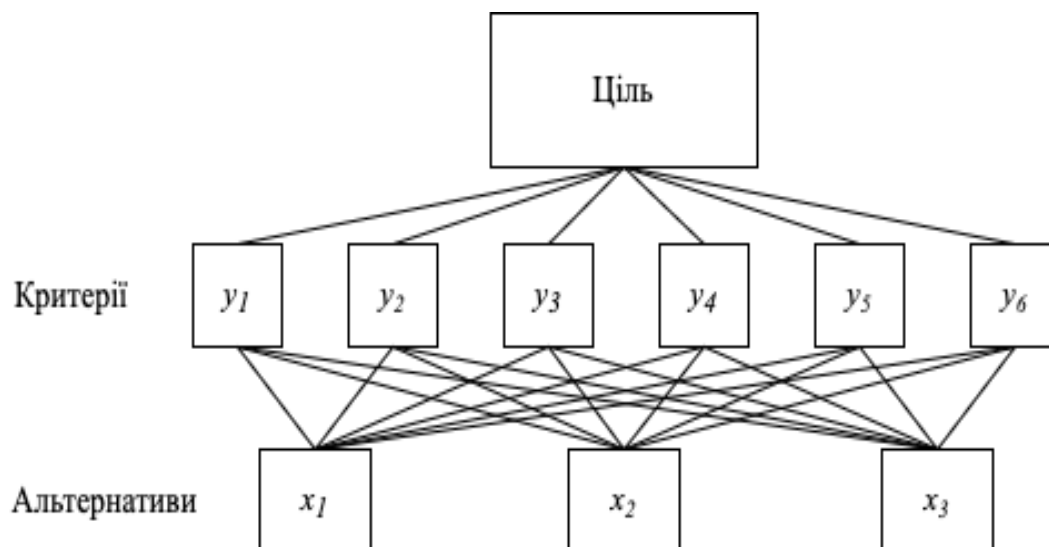


Рис. 2.2. Типова ієрархічна структура в МАІ

Спочатку математичний розрахунок, який бере участь у процесі МАІ, може здатися простим, але при розгляді більш складних випадків аналіз та обчислення стають глибшими та вичерпнішими [9].

Постановка завдання, розв'язуваної за допомогою методу МАІ, полягає зазвичай в наступному.

Дано: загальна мета (або цілі) вирішення завдання; критерії оцінки альтернатив; альтернативи.

Потрібно: вибрати найкращу альтернативу. Підхід МАІ складається із сукупності етапів.

1. Перший етап полягає в структуризації завдання у вигляді ієрархічної структури з декількома рівнями: цілі – критерії – альтернативи.

2. На другому етапі ОПР виконує попарні порівняння елементів кожного рівня. Результати порівнянь переводяться в числа.

3. Обраховуються коефіцієнти важливості для елементів кожного рівня. При цьому перевіряється узгодженість суджень ОПР.

4. Підраховується кількісний індикатор якості кожної з альтернатив і визначається найкраща альтернатива [6].

Порівняння між двома елементами за допомогою МАІ можна здійснити різними способами. Однак найбільш широко застосовується шкала відносної важливості між двома альтернативами, запропонована Сааті. Призначаючи значення, які варіюються від 1 до 9, шкала визначає відносну важливість альтернативи у порівнянні з іншою альтернативою, як ми можемо бачити на прикладі таблиці 2.1 [35].

Таблиця 2.1

Шкала ступеня значимості дій

Ступінь значимості	Визначення	Пояснення
1	2	3
1	Однакова значимість	Дві дії мають однаковий внесок у досягнення мети
3	Слабка значимість	Існують недостатньо переконливі міркування на користь переваги однієї з дій
5	Істотна значимість	Маються надійні дані для того, щоб показати перевагу однієї з дій
7	Очевидна значимість	Переконливе свідчення на користь однієї дії перед іншою
9	Абсолютна значимість	Незаперечні переконливі свідчення на користь переваги однієї дії перед іншою
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми судженнями	Ситуація, коли необхідне компромісне рішення

МАІ – це окрема техніка, яка не є частиною стандартної методології *Six Sigma*. Насправді вона була розроблена через багато років після того, як була розроблена методологія *Six Sigma*. Однак знайшла широкомасштабне застосування в шести

сигма-проектах. Менеджери використовують МАІ для присвоєння числових ваг факторам. Ці фактори можуть бути тими, що використовуються клієнтами при оцінці товару, або вони можуть використовуватися керівництвом для оцінки альтернативних рішень.

ELECTRE – це сімейство багатокритеріальних методів аналізу рішень, що виникли в Європі в середині 1960-х. Аббревіатура *ELECTRE* розшифровується як: *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* (*ELimination Et Choice Translating REality*).

Спосіб був вперше запропонований Бернардом Роем та його колегами з консалтингової компанії *SEMA*. Команда *SEMA* працювала над конкретними, кількома критеріями, реальною проблемою того, як фірми могли приймати рішення про нові види діяльності, і стикалися з проблемами, використовуючи техніку зваженої суми. Бернарда Роя запросили як консультанта, і група розробила метод *ELECTRE*. Оскільки він був вперше застосований у 1965 році, метод *ELECTRE* мав вибрати найкращі дії з даного набору дій, але незабаром його застосували до трьох основних проблем: вибору, ранжування та сортування [36].

Для ефективного вирішення різноманітних невизначеностей, пов'язаних із проблемою вибору постачальника, оціночна інформація експертів виражається лінгвістичними термінами та рівнями довіри.

Різні рішення проблеми прийняття рішень називаються потенційними діями або альтернативами. Ці дії перераховані вичерпно чи ні, і їх повинен сформулювати користувач. Наслідки кожного з них оцінюються за допомогою критеріїв. Критерій може бути якісним або кількісним і повинен бути визначений користувачем. Коли це якісно, оцінка дій за цим критерієм повинна бути зведена до числової шкали, визначеної користувачем [37].

Підхід до вирішення завдання багатокритеріального вибору на основі попарного порівняння альтернатив за сукупністю їх критеріальних оцінок реалізований у вигляді методів *ELECTRE* (*ELECTRE – Elimination Et Choix Traduisant la Realit* – виняток і вибір, що відображають реальність). У цих методах будується послідовність бінарних відносин, на основі яких гірші альтернативи послідовно виключаються з розгляду. Головним достоїнством методу *ELECTRE* є поетапність

виявлення переваг ОПР в процесі призначення рівнів згоди/незгоди та вивчення ядер. Детальний аналіз дозволяє ОПР сформувати свої переваги, визначити компроміси між критеріями. Використання відносини непорівнянності дає можливість виділити пари альтернатив з суперечливими оцінками, зупинитися на ядрі, виділення якого достатньо обґрунтоване з точки зору наявної інформації. Однак при застосуванні методу *ELECTRE* виникають труднощі, пов'язані з призначенням ОПР ваг [20, 21].

Структура методу *ELECTRE* включає наступне:

1. Проводиться повне попарне порівняння всіх альтернатив; для кожної пари альтернатив по критеріальним оцінками обчислюються значення двох спеціальних індексів – згоди і незгоди.

2. Задаються рівні згоди і незгоди, з якими порівнюються значення обчислених індексів для кожної пари альтернатив. Якщо індекс згоди вище заданого рівня, а індекс незгоди – нижче, то одна з альтернатив перевершує іншу. В іншому випадку альтернативи непорівнянні.

3. З безлічі альтернатив видаляються доміновані. Решта альтернативи утворюють ядро.

4. Вводяться послідовно більш «слабкі» значення рівнів згоди і незгоди, при яких виділяються ядра з меншою кількістю альтернатив.

5. Процес пошуку кращих альтернатив припиняють, коли число альтернатив в ядрі стає прийнятним для ОПР або їх число менше заздалегідь заданого. В останнє ядро входять найкращі альтернативи [8].

Зрештою, для того, щоб використовувати метод *ELECTRE*, користувач повинен надати принаймні: перелік дій, перелік критеріїв, оцінку кожної дії за критерієм та вагу кожного критерію.

ELECTRE I – один із ранніх багатокритеріальних методів оцінки. Основна мета цього методу полягає у виборі бажаної альтернативи, яка відповідає як вимогам переваги конкордантності, що перевищує багато еталонів оцінки, так і переваги дискордації за будь-яким додатковим еталоном. *ELECTRE I*, як правило, включає три поняття, а саме, індекс відповідності, індекс невідповідності та порогове значення [22].

ELECTRE II відрізняється від методу *ELECTRE* I тим, що створюються за допомогою двох індексів згоди і незгоди. Всі альтернативи порівнюються щодо двох відносин. В результаті утворюється кінцева безліч альтернатив першого співвідношення, що знаходяться в сильному і в слабкому перевагах [30].

Метод *ELECTRE* III застосовує поріг чутливості, який вважається псевдокритерієм. Перевага тієї чи іншої варіації формується із застосуванням порога чутливості, а далі змінюється до конкретної межі. Будь-якій альтернативі присвоюється число рівне різниці індексів перевазі. Потім сортується перелік альтернатив від умовно придбаних альтернативами чисел. У всіх методах *ELECTRE* переважно, щоб число альтернатив було не дуже великим, а критерії були чисельними [30].

Крім того, метод аналізу основних компонентів (АОК) – багатовимірний статистичний метод зменшення даних, який використовується для ідентифікації невеликого набору змінних, що становлять велику частину загальної дисперсії у вихідній дисперсії. Ця методика також використовується для виявлення «прихованих» розмірів у даних. Насправді, аналіз основних компонентів обчислює лінійні комбінації змінних. Перша лінійна комбінація змінних забезпечує найбільшу кількість змін у вибірці; другий для наступної найбільшої величини дисперсії у розмірності, незалежній від першої; і так далі. Цей метод також є популярним методом ранжування в багатовимірному аналізі. Методологія аналізу основних компонентів має перевагу у тому, що вона досить проста у використанні, оскільки вона доступна протягом десятиліть. Цей метод виявився здатним обробляти безліч суперечливих атрибутів, властивих вибору постачальника, одночасно компромісуючи ключові критерії вибору постачальника [21].

Суть методу простих збільшень полягає в тому, що після призначення ОПР ваг критеріїв альтернативи порівнюються за шкалою одного критерію. Використовуватися можуть критерії будь-якого типу, кількість альтернатив невелика [30].

2.2. Вибір інструментарію для реалізації функції представлення та зберігання відеоінформації для комп'ютера БПЛА

За останнє десятиліття було розроблено багато аспектів цифрових технологій. Зокрема, у галузі отримання зображень, зберігання даних та растрового друку. Стиснення зображення значно відрізняється від стиснення вихідних двійкових даних. Зображення мають певні статистичні властивості, які можуть бути використані спеціально розробленими для них кодерами, тому результат є менш оптимальним при використанні програм стиснення зображень загального призначення. Однією з багатьох технік обробки зображень є стиснення зображення. Стиснення зображень має безліч програм і відіграє важливу роль у ефективній передачі та збереженні зображень. Стиснення зображення спрямоване на зменшення надмірності даних зображення для зберігання або передачі лише мінімальної кількості зразків. І з цього ми можемо реконструювати вихідне зображення відповідно до людського зорового сприйняття [19].

Швидке зростання програм для цифрових зображень, включаючи настільні публікації, мультимедіа, телеконференції та телебачення високої чіткості (*HDTV*), збільшили потребу в ефективних та стандартизованих техніках стиснення зображень. Серед нових стандартів є *JPEG* для стиснення нерухомих зображень, *MPEG*, для стиснення відео в русі та *CCITT H.261* (також відомий як *Px64*) для стиснення відеотелефонії та телеконференцій. Усі три з цих стандартів використовують базову техніку, відому як дискретне косинусне перетворення (ДКП). Його застосування для стиснення зображень було започатковано Чен і Праттом [3].

Суперечність між великим обсягом даних та обмеженою пропускнуою спроможністю каналів цифрових зображень відображає важливість стиснення зображення, і, як правило, між пікселями більшості зображень має бути певна кореляція. Інформація, що міститься між зображеннями, належить до надмірності зображення. Для забезпечення якості зображення стиснення даних має усунути надмірність зображення. Зазвичай для обробки зображень використовуються різні методи стиснення для усунення різних типів надмірності. Існує багато методів

стиснення та кодування цифрових зображень. З точки зору теорії інформації, методи стиснення зображення та кодування можна розділити на два види: стиснення без спотворень та кодування з кінцевими спотвореннями. Принцип кодування стиснення без втрат полягає у зменшенні надмірності даних джерела інформації зображення за допомогою кодування змінної довжини, що робить кодування даних зображення близьким до своєї інформаційної ентропії і, отже, не створює спотворень. Принцип кодування кінцевих спотворень заснований на унікальних візуальних характеристиках людського ока. Не змушуючи зображення спотворюватись, можна усунути кореляцію джерела інформації про зображення у просторі та часі, а дисперсію сигналу можна зменшити за допомогою певного перетворення сигналу, щоб досягти вимоги кодування стиснення.

Першими для архівації зображень стали застосовуватися звичні алгоритми. Ті, що використовувалися і використовуються в системах резервного копіювання, при створенні дистрибутивів і т.п. Ці алгоритми архівували інформацію без змін. Однак основною тенденцією останнім часом стало використання нових класів зображень.

Старі алгоритми перестали задовольняти вимогам, що пред'являються до архівації. Багато зображення практично не стискалися, хоча «на погляд» володіли явною надмірністю. Це призвело до створення нового типу алгоритмів – стискають з втратою інформації. Як правило, коефіцієнт архівації та, отже, ступінь втрат якості в них можна задавати. При цьому досягається компроміс між розміром і якістю зображень.

Дискретне косинусне перетворення – це техніка для перетворення сигналу в елементарні частотні компоненти. Він широко використовується при стисненні зображення.

Векторне ДКП корисне для обробки одновимірних сигналів, таких як мовні сигнали. Для аналізу двовимірних (2D) сигналів, таких як зображення, нам потрібна 2D версія ДКП, а саме двовимірне ДКП [3].

Стиснення зображення на основі ДКП базується на двох способах зменшення даних, необхідних для подання зображення. Перший – квантування коефіцієнтів ДКП зображення, другий – кодування ентропії квантованих коефіцієнтів. Квантування – це

процес зменшення кількості можливих значень величини, зменшуючи тим самим кількість бітів, необхідних для її подання. Ентропійне кодування – це техніка для максимально компактного представлення квантованих даних [3].

Формат *JPEG* використовує ДКП для стиснення зображень. На кожному етапі стиснення зображення розмір зображення стає меншим, але інформація про частоту зображення втрачається, оскільки застосовується дедалі більше стиснення. За невеликої кількості стиснення практично неможливо помітити різницю у зображеннях.

Сигнал для графічного зображення можна сприймати як тривимірний сигнал. Осі X та Y сигналу зображення є двома розмірами екрана, тоді як амплітуда сигналу, вісь Z , – значення пікселя в (X, Y) . Це може бути представлено візуально двовимірним масивом, де кожна клітинка містить числове значення пікселя в цьому місці.

Три тісно пов'язані компоненти, які зображені на рис. 2.3 утворюють типову систему стиснення зображень із втратами: кодер джерела, квантор та кодер ентропії.



Рис. 2.3. Кодування системи стиснення зображення

Найпопулярнішою технікою стиснення зображення протягом останніх кількох років було дискретне косинусне перетворення. Його вибір як стандарт *JPEG* є однією з основних причин його популярності. ДКП використовується багатьма неаналітичними програмами, такими як обробка зображень та програмами обробки сигналів, такими як відеоконференції. ДКП використовується для трансформації для стиснення даних. ДКП – це ортогональне перетворення, яке має фіксований набір базових функцій [19].

Ентропійне кодування досягає кращого стиснення без втрат, кодуючи більш компактно квантовані коефіцієнти ДКП. Як кодування Хаффмана, так і арифметичне

кодування визначається пропозицією *JPEG*. Кодування Хаффмана використовується в базовому послідовному кодеку, але всі режими роботи використовують кодування Хаффмана та арифметичне кодування. Вихідні символи, які є не менш імовірними, ефективно використовують кодування Хаффмана. У 1952 р. Алгоритм кодування змінної довжини, заснований на ймовірностях вихідного символу $P(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, L$, пропонується Хаффманом. Алгоритм досягає оптимальності, якщо середня кількість бітів, необхідна для подання вихідних символів, є мінімальною за умови дотримання умови префікса. Алгоритм Хаффмана починається з набору символів, кожен із частотою їх появи (ймовірність), будуючи те, що ми можемо назвати таблицею частот. Потім алгоритм Хаффмана будує дерево Хаффмана за допомогою таблиці частот. Деревовидна структура містить вузли, кожен містить символ, його частоту, вказівник на батьківський вузол та вказівники на лівий та правий дочірні вузли. Послідовний прохід через існуючі вузли дозволяє дереву рости. Кожен прохід здійснює пошук двох вузлів, які мають два найнижчі відліки частоти, за умови, що вони не вирости батьківським вузлом. Новий вузол генерується, коли алгоритм знаходить ці два вузли. Новий вузол призначається батьківським для двох вузлів і йому надається підрахунок частоти, який дорівнює сумі двох дочірніх вузлів. Ці два дочірні вузли ігноруються наступними ітераціями, які включають новий батьківський вузол. Пропуски зупиняються, коли залишається лише один вузол без батьківського елемента.

Алгоритм стиснення Хаффмана названий на честь його винахідника Девіда Хаффмана.

Стиснення Хаффмана – це алгоритм стиснення без втрат, який ідеально підходить для стиснення текстових або програмних файлів. Це, мабуть, пояснює, чому він часто використовується в програмах стиснення, таких як *ZIP* або *ARJ*.

Стиснення Хаффмана належить до сімейства алгоритмів із змінною довжиною кодового слова. Це означає, що окремі символи (наприклад, символи в текстовому файлі) замінюються бітовими послідовностями, що мають різну довжину. Отже, символам, які часто зустрічаються у файлі, дається коротка послідовність, тоді як інші, що використовуються, рідко отримують довшу послідовність бітів.

Стиснення Хаффмана в основному використовується в програмах стиснення, таких як *pkZIP*, *lha*, *gz*, *zoo* та *arj*. Він також використовується для стиснення *JPEG* та *MPEG*.

Лише один вузол без батьківського елемента буде кореневим вузлом дерева. Стиснення передбачає обхід дерева, починаючи з листового вузла, для стиснення символу та навігацію до кореня. Батьківський елемент поточного вузла ітераційно вибирається і бачиться за допомогою цієї навігації, щоб визначити, чи є поточний вузол «правим» чи «лівим» дочірнім елементом батьківського, таким чином визначаючи наступний біт (1) чи (0). Останній бітовий рядок тепер потрібно змінити, тому що ми переходимо від листа до кореня [14, 15].

Фаза стиснення обернена в процесі декомпресії, і в зворотному порядку. Першим кроком є відновлення таблиць Хаффмана з зображення та декомпресія маркерів Хаффмана на зображенні. Далі значення ДКП для кожного блоку будуть першими речами, необхідними для декомпресії блоку. Інші 63 значення в кожному блоці розпаковуються *JPEG*, заповнюючи відповідну кількість нулів. Останній крок поєднується з декодуванням порядку зигзагоподібного відтворення та відтворенням блоків 8*8. Інверсние ДКП приймає кожне значення в просторовій області та вивчає внески кожного з 64 значень частоти в цей піксель [14, 16].

Результати моделювання показують, що стиснене зображення, отримане кодуванням Хаффмана та кодуванням довжини циклу, майже однакове з вихідним зображенням після декомпресії. Алгоритм кодування простий, але ступінь стиснення кодування є відносно низьким. Якщо користувач не вимагає високої якості зображення і приділяє мало уваги ступеню стиснення, цей метод кодування може бути використаний. Головною перевагою інтелектуального кодування є те, що воно може досягти високого ступеня стиснення кодування. Недоліком передбачуваного кодування є те, що стійкість до помилок занадто низька. При обробці зображень, якщо існує певна вимога до ефективності кодування та низька вимога до якості зображення, він може використовувати інтелектуальне кодування для обробки зображень. Трансформаційне кодування в основному вирішує проблему надмірності кореляції,

але це призводить до зменшення роздільної здатності зображення, збільшення ефекту блоку та шуму зображення, що вплине на візуальний ефект людини.

Перетворення відбувається таким чином, що коефіцієнти матриці ДКП виходять впорядкованими по частоті. Спочатку йдуть низькочастотні коефіцієнти, потім середньо частотні і високочастотні (рис. 2.4). Низькочастотні коефіцієнти містять найважливішу інформацію для відновлення вихідних даних, і їх зміна призведе до сильного спотворення даних після застосування зворотного перетворення. Високочастотні коефіцієнти можна відрізати (занулити) без сильного впливу на дані після застосування зворотного перетворення, що і відбувається на етапі квантування.

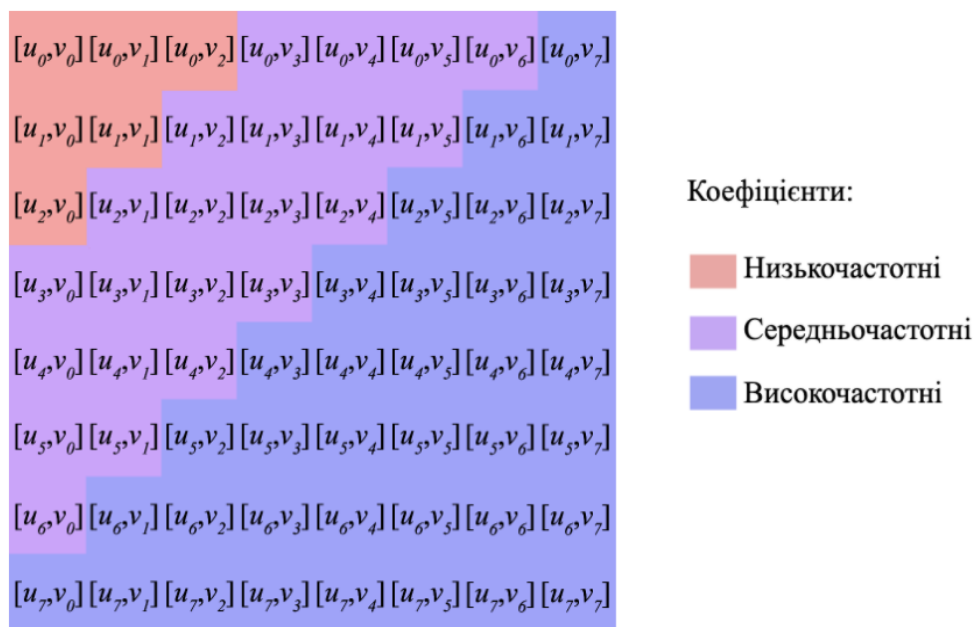


Рис. 2.4. Матриця коефіцієнтів ДКП розміром 8*8

Групове кодування (*RLE*) є найпростішим з широко використовуваних методів стиснення без втрат. Подібно стиску порожніх місць, воно не вимагає особливих витрат, особливо для декодування. Ідея, що стоїть за цим методом, полягає в тому, що багато представлень даних складаються здебільшого з рядків, в яких повторюється набір байтів. Замість того щоб представляти кожен символ за допомогою його власного байта, метод *RLE* передбачає (іноді або завжди) зазначення кількості повторень, за яким слідує символ, який потрібно відтворити вказане число раз.

Одна з реалізацій алгоритму така: шукають байт, який найменше зустрічається, називають його префіксом і роблять заміни ланцюжків однакових символів на трійки «префікс, лічильник, значення». Якщо ж цей байт зустрічається в вихідному файлі один або два рази поспіль, то його замінюють на пару «префікс, 1» або «префікс, 2». Залишається одна невикористана пара «префікс, 0», яку можна використовувати як ознака кінця заповнених даних.

Якщо в оброблюваному форматі даних переважають повторювані байти, то може бути доречним і ефективним використання алгоритму, в якому один або декілька байтів вказують кількість повторень, а потім слід повторюваний символ. Однак якщо є рядки символів одиначної довжини, для їх кодування будуть потрібні два (або більше) байта. Іншими словами, для одного символу *ASCII* «X» вхідного потоку міг би знадобитися вихідний потік бітів 00000001 01011000. З іншого боку, для кодування ста наступних один за одним символів «X» використовувалося б те ж саме кількість бітів: 01100100 01011000, що досить ефективно .

У різних варіантах *RLE* часто застосовується виборче використання байтів для вказівки числа повторень, в той час як інші байти просто представляють самі себе. Для цього має бути зарезервовано як мінімум одне одnobайтовое значення, яке в разі необхідності може віддалятися з вихідних даних.

До позитивних сторін алгоритму, можна віднести те, що він не вимагає додаткової пам'яті при роботі, і швидко виконується. Алгоритм застосовується в форматах *PCX*, *TIFF*, *BMP*. Цікава особливість групового кодування в *PCX* полягає в тому, що ступінь архівації для деяких зображень може бути істотно підвищена всього лише за рахунок зміни порядку кольорів в палітрі зображення.

Цей алгоритм дуже простий у реалізації і не вимагає багато потужності процесора. Стиснення *RLE* ефективно лише у файлах, які містять багато повторюваних даних. Це можуть бути текстові файли, якщо вони містять багато пробілів для відступу, але лінійні зображення, що містять великі білі або чорні області, набагато більше підходять. Комп'ютерні кольорові зображення (наприклад, архітектурні креслення) також можуть забезпечити справедливий коефіцієнт

стиснення. Цей метод добре підходить для файлів, що містять довгі послідовності однакових величин.

Алгоритм Лемпеля-Зива-Велча (*Lempel-Ziv-Welch, LZW*) – це універсальний алгоритм стиснення даних без втрат.

Послідовно зчитуються символи вхідного потоку і відбувається перевірка, чи існує в створеній таблиці рядків такий рядок. Якщо такий рядок існує, зчитується наступний символ, а якщо рядок не існує, в потік заноситься код для попередньої знайденої рядки, рядок заноситься в таблицю, а пошук починається знову.

Наприклад, якщо стискають байтові дані (текст), то рядків в таблиці виявиться 256 (від «0» до «255»). Якщо використовується 10-бітний код, то під коди для рядків залишаються значення в діапазоні від 256 до 1023. Нові рядки формують таблицю послідовно, т. Е. Можна вважати індекс рядка її кодом.

Алгоритмом декодування на вході потрібно тільки закодований текст, оскільки він може відтворити відповідну таблицю перетворення безпосередньо по закодованого тексту. Алгоритм генерує однозначно декодований код за рахунок того, що кожен раз, коли генерується новий код, новий рядок додається в таблицю рядків. *LZW* постійно перевіряє, чи є рядок вже відомої, і, якщо так, виводить існуючий код без генерації нового. Таким чином, кожен рядок буде зберігатися в єдиному екземплярі і мати свій унікальний номер. Отже, при дешифрування при отриманні нового коду генерується новий рядок, а при отриманні вже відомого, рядок витягується зі словника.

Переваги даного методу стиснення:

- не вимагає обчислення ймовірностей народження символів або кодів;
- для декомпресії не треба зберігати таблицю рядків в файл для розпакування.

Алгоритм побудований таким чином, що ми в змозі відновити таблицю рядків, користуючись тільки потоком кодів;

- даний тип компресії не вносить спотворень в вихідний графічний файл, і підходить для стиснення растрових даних будь-якого типу.

Недоліки даного методу:

- алгоритм не проводить аналіз вхідних даних тому не оптимальний.

Опублікування алгоритму *LZW* справило велике враження на всіх фахівців зі стиснення інформації. За цим послідувала велика кількість програм і додатків з різними варіантами цього методу.

Цей метод дозволяє досягти одну з найкращих ступенів стиснення серед інших існуючих методів стиснення графічних даних, при повній відсутності втрат або спотворень у вихідних файлах. В даний час використовується в файлах формату *TIFF*, *PDF*, *GIF*, *PostScript* та інших, а також частково в багатьох популярних програмах стиснення даних (*ZIP*, *ARJ*, *LHA*).

Деякі версії стиснення *LZW* захищені авторським правом. Їх власник, *Unisys*, вимагає від будь-якої компанії роялті, використовуючи їх алгоритм. Це серйозно завадило популярності стиснення *LZW*, і в довгостроковій перспективі ми, мабуть, побачимо, як його замінюють менш дорогі (читай: безкоштовні) алгоритми. Як кінцевому користувачеві, вам не доведеться турбуватися, оскільки лише виробники програмного забезпечення повинні платити ліцензійну плату. Але врешті-решт ви платите за це, оскільки витрати на ліцензування повинні покриватися ціною програмного забезпечення.

Рекурсивний алгоритм, також називають хвильове стиснення або стиснення з використанням сплесків, відомий досить давно і безпосередньо виходить з ідеї використання когерентності областей. Орієнтований алгоритм на кольорові і чорно-білі зображення з плавними переходами. Ідеальний для картинок типу рентгенівських знімків. Коефіцієнт стиснення задається і варіюється в межах 5-100. При спробі задати більший коефіцієнт на різких межах, особливо проходять по діагоналі, проявляється «сходовий ефект» – сходинки різної яскравості розміром в кілька пікселів.

Ідея алгоритму полягає в тому, що ми зберігаємо в файл різницю - число між середніми значеннями сусідніх блоків в зображенні, яка зазвичай приймає значення, близькі до 0.

Deflate – це алгоритм стиснення без втрат, що використовує комбінацію алгоритмів *LZ77* і Хаффмана. Спочатку був описаний Філом Кацем для другої версії його архіватора *PKZIP*, який згодом був визначений в *RFC 1951* (1996 рік).

Deflate вважається вільним від всіх існуючих патентів, і поки залишався в силі патент на *LZW* (він застосовується в форматі *GIF*), це призвело до використання *Deflate* не тільки в форматі *ZIP*, для якого Кац спочатку його спроектував, але також в компресорі / декомпресор *gzip* і в *PNG*-зображеннях.

Компресія (конвертація) даних – це спосіб збереження даних таким чином, при використанні якого не гарантується (хоча іноді можливо) повне відновлення вихідних графічних даних. При такому способі зберігання даних зазвичай графічна інформація трохи “псується” у порівнянні з оригінальною, але цими спотвореннями можна управляти, і при їх невеликому значенні ними цілком можна знехтувати. Зазвичай файли, збережені з використанням цього способу зберігання, займають значно менше дискового простору, ніж файли, збережені з використанням простий архівації (стиснення). Сильна ступінь компресії при використанні другого способу стиснення і дає цьому способу зберігання даних право на існування (в іншому випадку, все поголовно використовували б стиснення без втрат). Як правило, при збереженні даних з використанням компресії, є можливість компромісу між розміром вихідного файлу і його якістю. Зрозуміло, що можлива оптимізація тільки по одному параметру (чим менше якість, тим менше обсяг вихідного файлу, і навпаки).

Мови комп’ютерного програмування дозволяють давати вказівки комп’ютеру мовою, яку він розуміє. Частина мови програмування, яку може зрозуміти комп’ютер, називається “двійковою”. Переклад мови програмування у бінарний файл відбувається шляхом компіляції. Кожна мова, від мови *C* до *Python*, має свої особливості, хоча між мовами програмування є багато спільних рис.

Ці мови дозволяють комп’ютерам швидко та ефективно обробляти великі та складні масиви інформації.

Python – це вдосконалена мова програмування, яка інтерпретується, об’єктно-орієнтована і побудована на гнучкій та надійній семантиці.

Python простий у використанні, потужний та універсальний, що робить його чудовим вибором для початківців та експертів.

Мова програмування *Python* перевершує інтегровані завдання. Вона широко використовується як мова високого рівня, вільна та з відкритим кодом, яка

надзвичайно динамічна, інтерпретується, виконує сценарії та мультипарадигму. Вона також підтримує об'єктно-орієнтовані функції програмування і може використовуватися як мова програмування загального призначення. *Python* легший у вивченні та має простіший синтаксис порівняно з *C*, *C++* та *Java*. *Python* не менш відомий у настільних додатках. *Python* має різноманітну та розгалужену підтримку таких бібліотек, таких як *pip*, *pillow*, *Networkx*, *matplotlib*, *numpy*, *pylab* тощо. Галузі, в яких *Python* насправді лідирує – це наука про дані та машинне навчання, числові, символічні обчислення. Крім того, він використовується в інших сферах, таких як обробка зображень, ігри, веб-розробки та аналіз великих даних. *Python* використовується *Youtube*, *Google*, *NASA*, *Walt Disney*, *Blender*, *Cinema 4D*, *Crystal Space* та багатьма іншими. Обробка зображень за допомогою *Python* – це дуже ефективний та дієвий процес для здійснення таких операцій, як аналіз оцифровки зображень для отримання необхідної інформації. За допомогою *Python* можливо виконання кількох операцій, таких як поліпшення якості, покращення, масштабування, розмиття, інвертування зображення, написання тексту на зображеннях, відтінки сірого, відновлення зображення, відновлення тощо. У цій роботі в *Python* виконувались різні операції із зображенням з використанням функцій.

В даний час *Python* підтримує багато операційних систем. *Python* – це інтерпретована мова програмування. Це дозволяє вам запускати один і той же код на декількох платформах без додаткової компіляції. Отже, вам не потрібно перекомпілювати код після будь-яких змін. Ви можете запустити модифікований код програми без компіляції та перевірити вплив змін, внесених до коду. Ця функція полегшує внесення змін до коду, не збільшуючи час розробки.

Python можна використовувати для швидкого створення прототипу програми. Крім того, можна створити програмний додаток безпосередньо з прототипу, просто переробивши код *Python*. *Python* полегшує одночасне кодування та тестування, застосовуючи підхід, що керується тестовою розробкою (*TDD*). Можливо написати необхідні тести перед написанням коду і використовувати тести для постійної оцінки коду програми. Тести також можуть бути використані для перевірки відповідності програми наперед визначеним вимогам на основі вихідного коду.

Однак *Python*, як і інші мови програмування, має свої недоліки. У ньому відсутні деякі вбудовані функції, що надаються іншими сучасними мовами програмування. Отже, доведеться використовувати бібліотеки, модулі та фреймворки *Python*, щоб пришвидшити розробку програмного забезпечення. Крім того, кілька досліджень показали, що *Python* працює повільніше, ніж кілька широко використовуваних мов програмування, включаючи *Java* та *C++*. Потрібно пришвидшити програму *Python*, внісши зміни до коду програми, використовувати віртуальні середовища виконання, тестувати час виконання операцій, які можна написати різними способами.

Зараз є кілька схожих на *Python* мов програмування і які можуть стати конкурентами при вирішенні певних задач:

1. *Rust* пропонує такий самий тип безпеки, як і *Python* – жодна змінна випадково не може бути перезаписана. Це вирішує проблему ефективності з концепцією власності та запозичення.

2. *Julia* – це зовсім нова мова, яка прямо конкурує з *Python*. Він заповнює прогалину в масштабних технічних обчисленнях: зазвичай, якби використовувались *Python* або *Matlab*, і все це виправлялося бібліотеками *C++*, які необхідні у великих масштабах. Тепер можна використовувати *Julia* замість того, щоб поєднувати дві мови програмування.

Мова *Python* – другий за популярністю інструмент, що використовується після мови *R* для науки та аналітики даних. Багато навантажень на обробку даних в організації забезпечуються лише мовою *Python*. Більшість досліджень та розробок відбувається на мові *Python* завдяки багатьом додаткам, включаючи простоту аналізу та упорядкування корисних даних.

Не тільки це, але сотні бібліотек *Python* щодня використовуються у тисячах проектів машинного навчання, таких як *TensorFlow* для нейронних мереж та *OpenCV* для комп'ютерного бачення тощо.

Зображення – це не що інше, як наочне зображення чогось. Це означає, що це може бути зображення людини, тварини або будь-якої живої чи неживої істоти. В основному, зображення – це прямокутна сітка пікселів з певною шириною та

висотою. Кожен піксель має своє значення. Отже, якість зображення залежить від значень цього пікселя, а піксель – це одиниця інформації, присутня в зображенні.

Обробка зображень – це вдосконалення зображень за допомогою математичних операцій, для яких вхідними даними є зображення, наприклад, фотографія чи відеокадр, а результатом обробки зображень може бути зображення або набір характеристик або параметрів, пов'язаних із зображенням [25].

Python має безліч бібліотек для різних цілей, таких як веб-розробка, наукові та числові обчислення, обробка зображень. Для роботи з зображеннями *Python* має бібліотеку, тобто бібліотеку зображень *Python (PIL)* для операцій з обробки зображень. Бібліотека зображень *Python* надає безліч функцій для обробки зображень. Ми виконали деякі основні операції з використанням модулів *PIL*.

Бібліотека зображень *Python*, або коротше *PIL*, є однією з основних бібліотек для маніпулювання зображеннями мовою програмування *Python* і є у вільному доступі в Інтернеті для завантаження. Багато завдань з обробки зображень можна виконати за допомогою бібліотеки *PIL*, таких як інверсія зображення, двійкове перетворення, обрізання, написання тексту на зображеннях, зміна інтенсивності, яскравості, фільтрація зображень, наприклад, розмиття, контур, згладжування та багато іншого. Його перший випуск був у 1995 році. Багато версій *PIL* доступні відповідно до необхідної операційної системи. Деякі формати файлів, які він підтримує – *ppm*, *png*, *jpeg*, *tiff*, *bmp*, *gif*. *PIL* написаний мовою програмування *C* та *Python* [25].

Висновки за розділом

Вибір найкращого проекту в будь-якій галузі є проблемою, яка, як і багато інших проблем прийняття рішень, є складною, оскільки такі проекти, як правило, мають більше одного аспекту з точки зору вимірювання.

Метод аналізу ієрархій є систематичною процедурою для ієрархічного уявлення елементів, що визначають суть проблеми. Метод полягає в декомпозиції проблеми на все більш прості складові частини і подальшій обробці послідовності

суджень особи, яка приймає рішення, по парним порівнянь. В результаті може бути виражена відносна ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в ієрархії. Ці судження потім виражаються чисельно. МАІ включає в себе процедури синтезу множинних суджень, отримання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень. Такий підхід до вирішення проблеми вибору виходить з природної здатності людей думати логічно і творчо, визначати події і встановлювати відносини між ними.

Модифікація методу *ELECTRE* дозволяє адаптувати даний метод до таких завдань прийняття рішень, в яких пріоритети в умовах змінюються з часом або залежать від деякої величини. При цьому можливо знайти рішення задачі або їх уточнити для різних часових проміжків або інтервалів зміни значень змінних.

Стиснення зображення використовується для управління зображеннями в цифровому форматі. У розділі розглянуто швидкі та ефективні алгоритми кодування з втратами *JPEG* для стиснення/декомпресії зображення із використанням дискретного косинусного перетворення. Також представлено принципи стиснення цифрових зображень та різні методології стиснення зображень та кроки процесу *JPEG*, включаючи ДКП, квантування та кодування ентропії.

Для математичних задач використовують мови програмування, які досить швидко виконують обчислення, мають багато вбудованих пакетів, які скорочують час написання програми та час виконання. Популярними мовами програмування в математичній сфері є *MatLab*, *Python*, *Julia*, *R*, *C/C++*.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДКП НА ПРЕДМЕТ ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБРАЗА З ЗОБРАЖЕННЯ

3.1. Виявлення залежності показника «успішність ідентифікації образів, що їх отримав комп'ютер БПЛА» від величини «необхідний обчислювальний ресурс для обробки, зберігання та передачі інформації» для векторного ДКП

У попередньому дипломному проєкті було досліджено зберігання та передача фото та відеоінформації на основі векторного ДКП та реалізовано можливість обробки вхідного зображення способом векторного ДКП та отримання зображення після зворотного ДКП. Також, використовуючи мову програмування *Python*, реалізований метод для обрахування середньоквадратичної похибки вхідного вектору від відновленого та метод для побудови та відображення графіків [29].

Кожна дія програмного коду для реалізації стиснення зображення методом векторного ДКП потребує витрати часу. Використовуючи код з попередньої роботи [29], проводимо аналіз витрат часу стиснення зображення на комп'ютерах з різними характеристиками, а саме перетворення вхідного зображення у матрицю методом векторного ДКП та у вихідне зображення.

В табл. 3.1 наведені дані виконання програми згідно тестування на комп'ютері з наступними характеристиками – комп'ютері 1:

- процесор – *Intel Core i3-8100 CPU 3.6 GHz* * 4;
- кількість обчислювальних графічних ядер – 1024;
- оперативна пам'ять – 15, 5 ГіБ \approx 16,6 ГБ.

Таблиця 3.1

Витрати часу для перетворення зображення на комп'ютері 1 з гіршими характеристиками

Зображення	Призначення методу	Час, мкс	Всього часу, мкс
1	2	3	4
Портрет Ади Лавлейс	Обрахування квадратної косинусної матриці	5377	16065
	Обрахування вектору спектральних коефіцієнтів	1584	
	Головний метод	50	
	Округлення числа	6517	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	2332	
Портрет С.П. Корольова	Обрахування квадратної косинусної матриці	6288	18372
	Обрахування вектору спектральних коефіцієнтів	1700	
	Головний метод	62	
	Округлення числа	7292	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	3025	

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Поле	Обрахування квадратної косинусної матриці	3941	11690
	Обрахування вектору спектральних коефіцієнтів	1087	
	Головний метод	35	
	Округлення числа	4574	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	2048	

В табл. 3.2 наведені дані виконання програми згідно тестування на комп'ютері з наступними характеристиками – комп'ютері 2:

- процесор – *Intel Core i5 CPU 2.9 GHz* * 6;
- кількість обчислювальних графічних ядер – 4096;
- оперативна пам'ять – 8 ГБ.

Таблиця 3.2

Витрати часу для перетворення зображення на комп'ютері 2 з кращими характеристикам

Зображення	Призначення методу	Час, мкс	Всього часу, мкс
1	2	3	4
Портрет Ади Лавлейс	Обрахування квадратної косинусної матриці	3567	10888
	Обрахування вектору спектральних коефіцієнтів	1084	

1	2	3	4
Портрет Ади Лавлейс	Головний метод	48	10888
	Округлення числа	4117	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	2067	
	Обрахування квадратної косинусної матриці	4315	
	Обрахування вектору спектральних коефіцієнтів	1254	
	Головний метод	51	
Портрет С.П. Корольова	Округлення числа	5467	13093
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	2001	
	Обрахування квадратної косинусної матриці	3601	
	Обрахування вектору спектральних коефіцієнтів	658	
	Головний метод	29	
Поле	Округлення числа	2763	8699
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	1643	

Після виконання стиснення зображень на комп'ютерах з різними характеристиками, можна зробити висновок, що в залежності від конфігурації приладу змінюється час виконання програми. Порівняння результатів зображено на рис. 3.1.

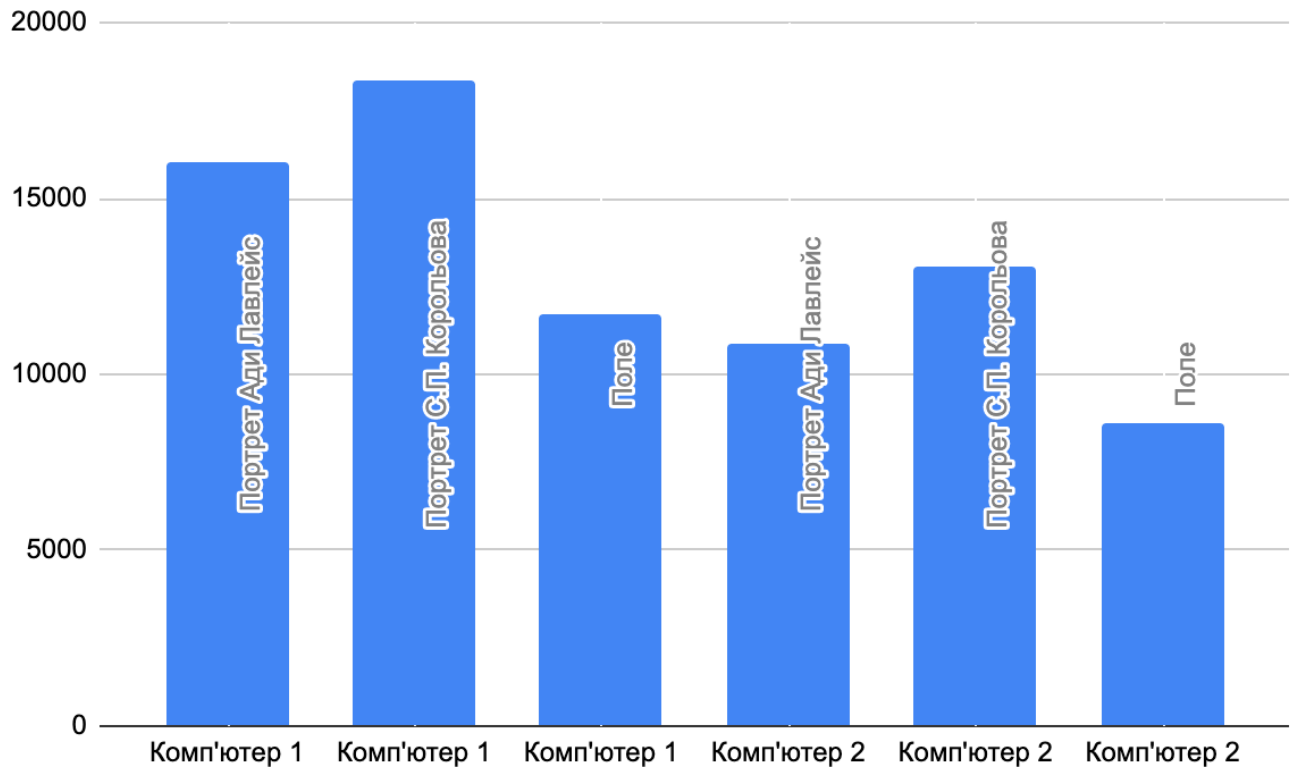


Рис. 3.1. Залежність часу виконання стиснення зображення від характеристик комп'ютера

Після замірів часу виконання стиснення зображень для їх передачі з бортового комп'ютера БПЛА на наземну станцію, необхідно зробити порівняння вхідного зображення та вихідного зображення після стиснення його методом векторного ДКП та можливостями мови програмування *Python* на комп'ютерах з різними характеристиками.

1. Ада Лавлейс – британський математик, відома тим, що зробила опис ранньої версії обчислювального пристрою загального призначення Чарльза Беббіджа, обчислювальної машини. Склала першу у світі програму (для цієї машини). Ввела у вжиток терміни «цикл» і «робоча комірка». Вважається першим програмістом [38]. У віці 12 років збирила свій власний літальний апарат.

Вхідне зображення (рис. 3.2), зображення після застосування векторного ДКП на комп'ютері 1 (рис. 3.3) та зображення після застосування векторного ДКП на комп'ютері 2 (рис. 3.4):



Рис. 3.2. Портрет Ади Лавлейс – вхідне зображення



Рис. 3.3. Портрет Ади Лавлейс – відновлення зображення на комп'ютері з гіршими характеристиками (1)



Рис. 3.4. Портрет Ади Лавлейс – відновлення зображення на комп'ютері з кращими характеристиками (2)

2. Корольов Сергій Павлович – радянський учений і конструктор у галузі ракетобудування та космонавтики, головний конструктор перших ракет-носіїв, штучних супутників Землі, пілотованих космічних кораблів, основоположник практичної космонавтики [39].

У 1964 році готував до польоту і брав участь у запуску ракетно-космічної системи «Зонд» для далеких міжпланетних польотів. Готував і здійснив політ космічного корабля «Схід». Затвердив проект ракетного комплексу «Союз», розроблений фахівцями під його керівництвом.

Вхідне зображення (рис. 3.5), зображення після застосування векторного ДКП на комп'ютері 1 (рис. 3.6) та зображення після застосування векторного ДКП на комп'ютері 2 (рис. 3.7):



Рис. 3.5. Портрет С.П.
Корольова – вхідне
зображення



Рис. 3.6. Портрет С.П.
Корольова – відновленне
зображення на комп'ютері
з гіршими
характеристиками (1)



Рис. 3.7. Портрет С.П.
Корольова – відновленне
зображення на комп'ютері
з кращими
характеристиками (2)

3. Знімок землі з зображенням полів з висоти польоту БПЛА.

Вхідне зображення (рис. 3.8), зображення після застосування векторного ДКП на комп'ютері 1 (рис. 3.9) та зображення після застосування векторного ДКП на комп'ютері 2 (рис. 3.10):

Аерофотозйомка – це фотозйомка поверхні Землі на необхідній висоті, за допомогою спеціального пристосування.

Аерофотозйомка місцевості застосовується в археології, використовується для вивчення ландшафту. Аерозйомку роблять за допомогою світлофільтрів, які дозволяють побачити красу місцевості, яку не помітити неозброєним оком. Для зображення об'ємного ділянки місцевості робиться два-три аерознімка, які в подальшому монтуються разом і надають загальну картину.

Порівнюючи вхідні зображення та зображення після стиснення методом векторного ДКП на комп'ютерах з різними характеристиками можна зробити висновок, що в зображеннях з чіткими переходами кольорів та насиченості з'являються деякі зміни та нечіткості – це чітко видно на фоні портретів Ади Лавлейс

та С.П. Корольова. Зображення з високою контрастністю, частими переходами між кольорами, з великою насиченістю різних елементів майже не змінюються (приклад фотографії із зображенням полів з БПЛА).



Рис. 3.8. Знімок полів із
БПЛА – вхідне
зображення



Рис. 3.9. Знімок полів із
БПЛА – відновленне
зображення на комп'ютері
з гіршими
характеристиками (1)



Рис. 3.10. Знімок полів із
БПЛА – відновленне
зображення на комп'ютері
з кращими
характеристиками (2)

3.2. Виявлення залежності показника «успішність ідентифікації образів, що їх отримав комп'ютер БПЛА» від величини «необхідний обчислювальний ресурс для обробки, зберігання та передачі інформації» для двовимірного ДКП

Ефективність стиснення ДКП наближається до граничного перетворення Кархунена-Лоеве (Хотеллінга), але набагато простіше його в програмній реалізації [23].

Схема методу представлена на рис. 3.11. Вхідне зображення розбивається на квадратні блоки розміром $n \times n$ відліків, в кожному блоці виконується двовимірне дискретне косинусне перетворення. Потім проводиться відбір істотних трансформант і їх квантування. Сукупність відібраних і квантованих трансформант для всіх блоків становить зміст стислих даних [10].



Рис. 3.11. Схема методу кодування з перетворенням

На рис. 3.12, 3.13 наведені зображення «Портрет», «Аерофотозйомка» і результати їх стиснення/відновлення методом двовимірне ДКП. Наведені залежності дозволяють зробити висновок про те, що в прийнятому методі компресії застосування ДКП дає хорошу якість стиснення. Розширення набору довжин, для яких існують ефективні алгоритми ДКП, дозволяє вибрати розмір блоку, при якому помилка стиснення при заданому коефіцієнті стиснення буде найменшою. Використання блоків нестандартних розмірів ($n \neq 8$) дозволяє зменшити помилку стиснення в 1,3-1,5 рази. Отримані результати підтверджуються і візуальною якістю відновлених зображень.

Перетворене зображення концентрує більшу частину енергії поки відбувається розподіл вихідного зображення. Завдяки цьому перетворене зображення — щоптимальний вибір для кодування символів або передачі, оскільки велика частина інформації зображення може бути передано з дуже малим числом частотних компонентів. Саме тому для стиснення зображень використовується ДКП.

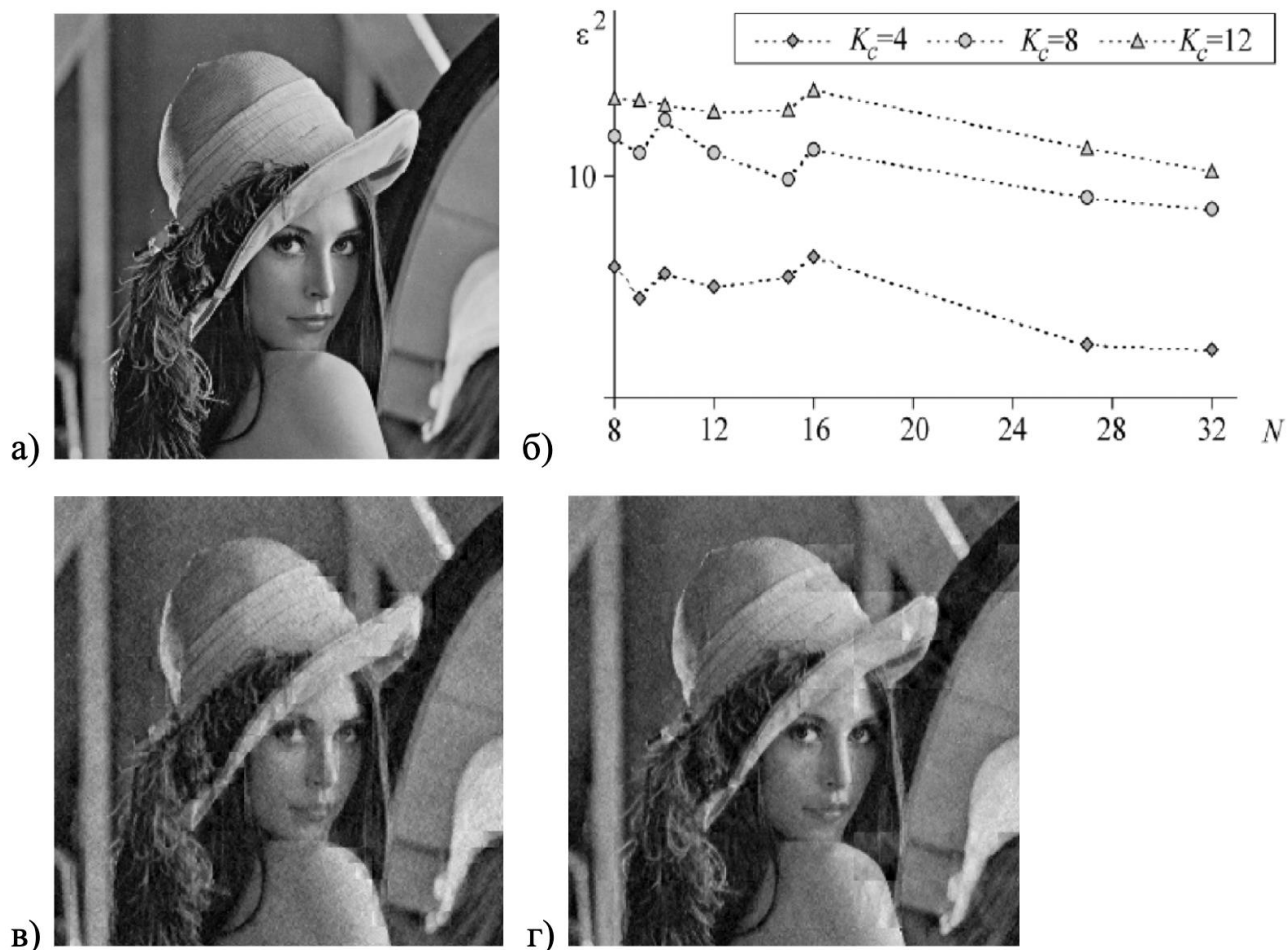


Рис. 3.12. Результати кодування зображення «Портрет»: а) вихідне зображення; б) залежність помилки стиснення від розміру блоку; в) відтворене зображення після кодування при коефіцієнті стиснення 6 і розмірі блоку 9; г) відтворене зображення після кодування при коефіцієнті стиснення 6 і розмірі блоку 21

Зображення не є нескінченними і періодичними. Зображення має межі, і ліва межа рідко має якесь відношення до правої межі. Очікується, що періодичне продовження матиме розрив. Це означає повільне затухання коефіцієнтів Фур'є і коливання Гіббса при стрибку - те місце, де Фур'є має серйозні проблеми. У області зображення це коливання розглядається як «дзвінок». Природним способом уникнути цієї розривності є відображення зображення через кордон. При косинусних перетвореннях періодичне розширення подвійної довжини стає безперервним.

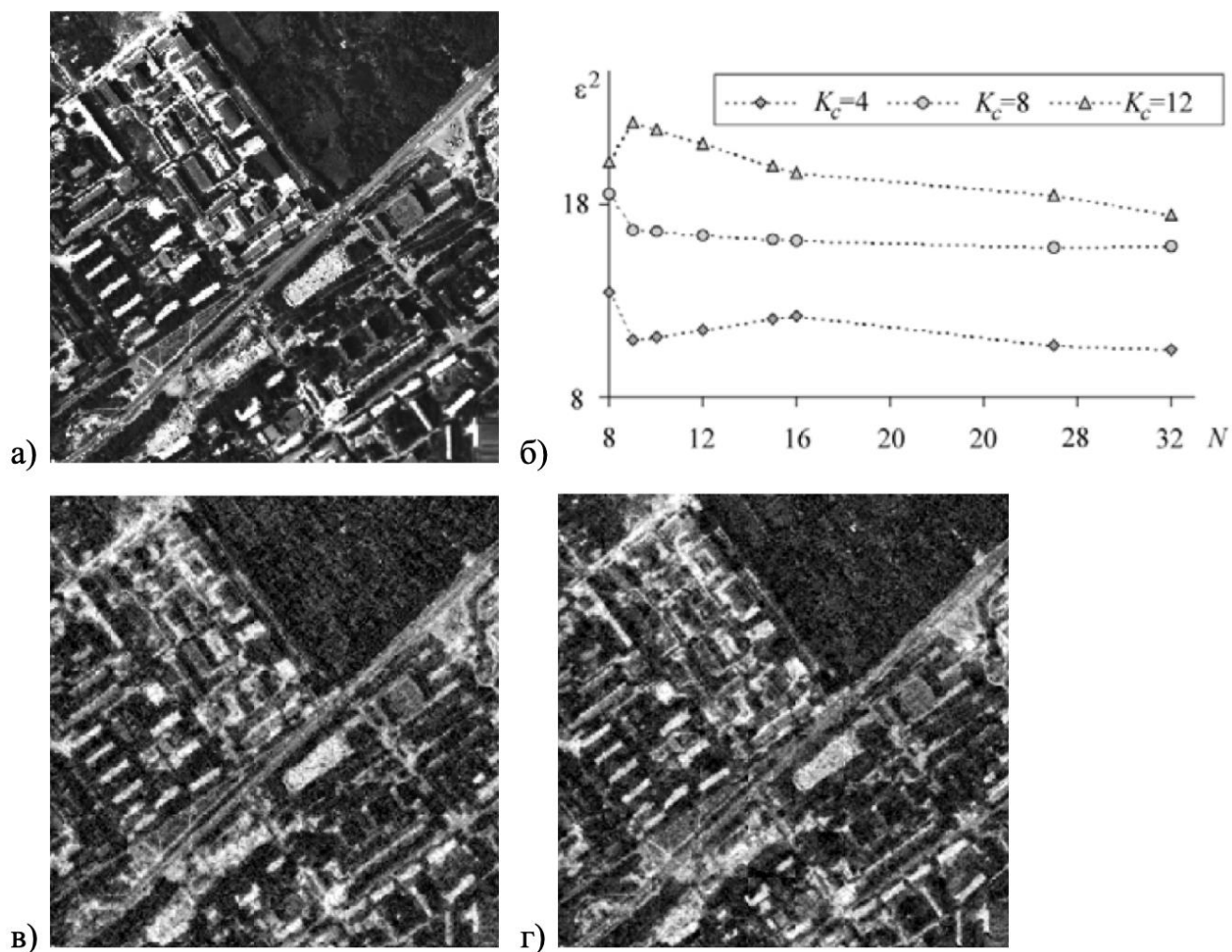


Рис. 3.13. Результати кодування зображення «Аерофотозйомка»: а) вихідне зображення; б) залежність помилки стиснення від розміру блоку; в) відтворене зображення після кодування при коефіцієнті стиснення 6 і розмірі блоку 9; г) відтворене зображення після кодування при коефіцієнті стиснення 6 і розмірі блоку 21

Для дослідження часу виконання стискання зображення методом двовимірного ДКП та якості зображення виконано тестування та заміри на двох комп'ютерах з різними характеристиками.

В табл. 3.3 наведені дані виконання програми згідно тестування на комп'ютері 1 з наступними характеристиками:

- процесор – *Intel Core i3-8100 CPU 3.6 GHz* * 4;
- кількість обчислювальних графічних ядер – 1024;
- оперативна пам'ять – 16 ГБ.

Таблиця 3.3

Витрати часу для перетворення зображення на комп'ютері 1 з гіршими характеристикам

Зображення	Призначення методу	Час, мкс	Всього часу, мкс
1	2	3	4
Портрет	Обрахування двовимірного ДКП	2987	9223
	Головний метод	47	
	Округлення числа	4117	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	2067	
Аерофото- зйомка	Обрахування двовимірного ДКП	2451	6891
	Головний метод	29	
	Округлення числа	2763	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	1643	

В табл. 3.4 наведені дані виконання програми згідно тестування на комп'ютері з наступними характеристиками – комп'ютері 2:

- процесор – *Intel Core i5 CPU 2.9 GHz* * 6;
- кількість обчислювальних графічних ядер – 4096;
- оперативна пам'ять – 8 ГБ.

Таблиця 3.4

Витрати часу для перетворення зображення на комп'ютері 2 з кращими характеристикам

Зображення	Призначення методу	Час, мкс	Всього часу, мкс
1	2	3	4
Портрет	Обрахування двовимірного ДКП	2580	7585
	Головний метод	42	
	Округлення числа	3412	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	1546	
Аерофото- зйомка	Обрахування двовимірного ДКП	2151	5445
	Головний метод	23	
	Округлення числа	2066	
	Обрахування зворотного ДКП	1	
	Перетворення зображення в матрицю	1	
	Перетворення матриці в зображення	3	
	Інші процеси <i>Python</i>	1200	

Після виконання стиснення зображень на комп'ютерах з різними характеристиками, можна зробити висновок, що в залежності від конфігурації приладу змінюється час виконання програми. Порівняння результатів зображено на рис. 3.14.

Успіх будь-якого перетворення в кодуванні зображень залежить від поєднання властивостей - математичних, обчислювальних та візуальних. Відношення до зорової системи людини визначається насамперед досвідом. Не існує абсолютного обмеження ні на двовимірні матриці, ні на прості граничні умови.

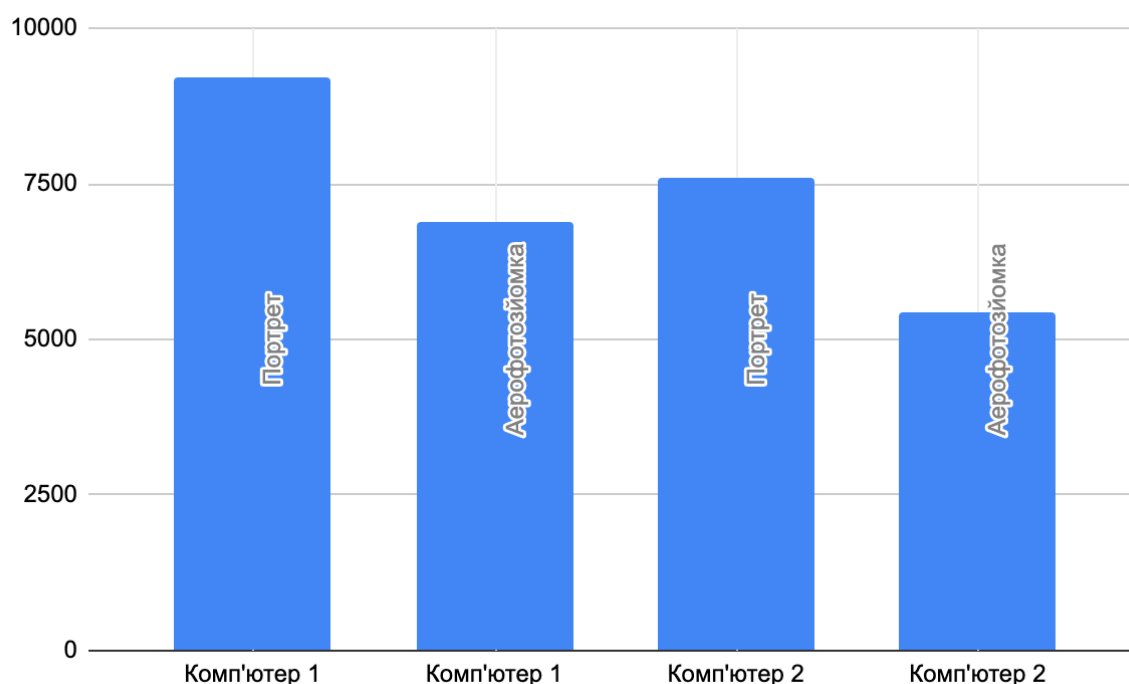


Рис. 3.14. Залежність часу виконання стиснення зображення від характеристик комп'ютера

Текст комп'ютерної програм, що використовувалась в роботі наведено в додатку А.

Висновки за розділом

Метод стиснення зображення викорінює надлишкову та/або непов'язану інформацію та винахідливо кодує залишки. Важливо прибрати як непотрібну інформацію, так і відповідну інформацію, щоб досягти необхідного стиснення. У будь-якому випадку, етапи стиснення інформації виявляє методи, які дозволяють винахідливо витягувати та представляти важливу інформацію.

Стиснення зображення – це зменшення розміру в байтах графічного файлу без погіршення якості зображення до небажаного рівня. Зменшення розміру файлу дозволяє зберігати більше зображень на відомому обсязі пам'яті. Це також мінімізує час, необхідний для надсилання зображень через інтернет або завантаження із мережесх сторінок. Існує декілька різних способів стиснення файлів зображень. Для

використання в інтернеті, двома в основному поширеними форматами стиснених графічних зображень є формат *JPEG* та формат *GIF*. Техніка *JPEG* частіше використовується для фотографій, тоді як техніка *GIF* зазвичай використовується для лінійних зображень та інших зображень, на яких геометричні фігури досить прості.

Проведено дослідження впливу векторного ДКП та двовимірного ДКП на якість зображення після стискання його для відправки з бортового комп'ютера БПЛА використовуючи можливості мови програмування *Python*.

Підтверджено необхідність у застосуванні двовимірного ДКП, а не векторного для зберігання та передачі фото та відеоінформації на представницькому рівні взаємодії комп'ютерів БПЛА.

Використано програмний код з попереднього дослідження, доведено, що технічні характеристики комп'ютера не впливають на якість відображення отриманого зображення з комп'ютера БПЛА. Проте характеристика комп'ютера впливають на час виконання стиснення зображення методом ДКП.

ВИСНОВКИ

Мережі БПЛА та *CPS* привертають велику увагу завдяки своїм перевагам у діяльності без участі людини. Очікується, що інтеграція БПЛА в систему *CPS* або розвиток мереж БПЛА з точки зору *CPS* сприятиме підвищенню ефективності роботи БПЛА при виконанні різних складних завдань.

БПЛА представляють дешеве та швидке рішення для отримання на замовлення детальних зображень цікавої області та створення детальних 3D-моделей та ортофото. Використання БПЛА вимагало хорошого досвіду обробки даних (фотограмметрія та структура з руху) та хороших здібностей оператора безпілотної для управління льотною місією, зокрема в складних умовах. Ці дві навички гарантують хорошу можливість придбання хорошого набору даних, який також слід правильно спланувати з урахуванням остаточного питання інженерної геології, яке слід вирішити.

Оснoву отримання і передачі зображення становить перетворення його в матрицю пікселів. Відображення графічного образу може виконуватися послідовно або з використанням прогресивного кодування.

Більшість методів обробки зображень та комп'ютерного зору реалізовані в комп'ютерному програмному забезпеченні. Часто лише найпростіші методи переходять на апаратне забезпечення, хоча методи кодування, щоб максимізувати ефективність передачі зображень, мають достатній комерційний інтерес, тому що вони гарантують широкий і дуже складний розвиток обладнання. *C*, *C++* та *Java* на сьогодні є найпопулярнішими мовами для впровадження системи зору завдяки сильним сторонам інтеграції функцій високого та низького рівня та наявності хороших компіляторів. У міру ускладнення систем *C++* та *Java* стають більш привабливими, коли можна використовувати інкапсуляцію та поліморфізм. Багато людей використовують *Java* як мову розробки, частково не лише завдяки незалежності платформи, але й простоті у впровадженні (хоча деякі стверджують, що швидкість / ефективність не настільки хороша, як у *C* / *C++*).

Стандарти для подання та передачі зображення розробляє *Joint Photographic Expert Group*. Для стиснення графічної інформації в даний час використовується дискретне косинусне двовимірне перетворення, яке дає суб'єктивно найкращий результат. Інтуїтивно метод ДКП базується на виявленні того, наскільки вищестоящий блок відрізняється від нижчестоящого. Для реального уявлення (стиснення) коефіцієнтів перетворення тут також використовуються коди Хафмана.

Завдяки бурхливому розвитку технологій стиснення зображень стало однією з ключових технологій у галузі сучасних мультимедіа та комунікацій. Дискретне косинусне перетворення, як основна частина міжнародних стандартів щодо багатьох видів кодування зображень, вважається одним із найбільш практичних кодувань стиснення з перетворенням зображень, але існує також проблема, що рівномірна робота кожного блоку пікселів робить неможливим кращого збереження деталей та відкидання надмірностей.

Всі системи стиснення вимагають наявності двох алгоритмів: один для стиснення даних відправником, інший для відновлення одержувачем. Ці алгоритми принципово асиметричні. По-перше, для багатьох додатків мультимедійний документ, наприклад, фільм може бути стиснутий один раз (при записі на сервер або *DVD*-диск), а декодувати тисячі разів на стороні клієнтів. З цієї причини процедура стиснення може бути досить складною, дорогою і довгою. Алгоритм же декодування повинен бути досить простим і дешевим. Втім, у разі відеоконференцій повільне кодування (стиснення) абсолютно неприйнятно. З цієї причини алгоритми стиснення даних в реальному масштабі часу принципово відрізняються від алгоритмів кодування даних при записі на відео або *DVD*.

Сучасні потоки інформації в процесі обробки, зберігання та передачі мають електронну форму: найчастіше це послідовності нулів і одиниць величезної довжини (10¹² – 10¹⁶ символів). Такі послідовності можна швидко обробляти лише в разі, коли є великі комп'ютерні ресурси (швидкодія, пам'ять, потужні канали зв'язку). Завдання скорочення обсягів цифрової інформації за рахунок відкидання несуттєвих її складових вельми актуальна, причому ступінь важливості ефективного вирішення цього завдання постійно зростає.

У порівнянні з будь-якими іншими загальноприйнятими форматами зображень *JPEG* забезпечує максимальне стиснення фотографічних зображень. Фотографію, для зберігання якої у вигляді файлу *Windows BMP* потрібно 1 Мбайт, у форматі *JPEG* зазвичай можна стиснути до 50 Кбайт, при цьому досягається стиск більше ніж в 20 разів за рахунок незначних втрат якості.

MPEG це стандарт на стиск звукових і відео файлів в більш зручний для завантаження чи пересилання формат.

В *MPEG* розміри відображуваної картинки і частота кадрів може відрізнятися від закодованого в потоці. Наприклад, перед кодуванням деяка підмножина кадрів у вихідній послідовності може бути опущено, а потім кожний кадр фільтрується і обробляється. При відновленні інтерполювати для відновлення вихідного розміру та частоти кадрів.

Фактично, три фундаментальні фази (вихідна частота, закодована і та, що показується) можуть відрізнятися в параметрах. В заголовки *MPEG-2* введені елементи, що описують розмір екрана для показу відеоряду.

Відеопослідовності, стислі відповідно до форматів *MPEG-1* і *MPEG-2*, розрізняються обсягом інформації і, як наслідок, якістю. Хоча алгоритм *MPEG-1* може працювати з роздільною здатністю аж до стандарту *CCIR-601* (720*480), зазвичай відео кодується за значно нижчою інтенсивності потоку даних, що призводить до гіршого якості відтвореного відео. Якість *MPEG-1* зазвичай асоціюється з якістю *VHS* тільки у форматі (352*240). При відтворенні таке зображення “розтягується” апаратними або програмними засобами до повного екрана, і хоча при цьому втрачається якість, зате залишається можливість програвати повноекранне відео навіть з двошвидкісним *CD-ROM*.

Хоча *MPEG-1* не розглядає можливості подання відео на основі поля, *MPEG-2* конкретно дозволяє підвищити ефективність стиснення на переплетеному матеріалі. Одним із способів цього є, дозволяючи передбачення на основі поля або кадру для кожного макроблока (часто називається адаптивним стисненням поля / кадру). У випадку прогнозування на основі полів, макроблок ділиться на два польові макроблоки. Макроблок верхнього поля прогнозується з верхніх полів на одному або

двох прикріплених знімках із використанням режимів, відповідних типу зображення. Макроблок нижнього поля передбачається з нижніх полів на одній або двох опорних знімках. Зверніть увагу, що підрозділ кольоровості тут відповідає обмеженням вибірки кольоровості для подання поля, описаним раніше.

Відомо, що пікселі на зображенні корелюють зі своїми сусідами, тому що значення конкретного пікселя можна передбачити по його сусідам. Дискретне косинусне перетворення (ДКП) зменшує цю надмірність між пікселями.

Порядок відбору, передачі та подання кінцевому користувачеві даних зображення може мати динамічний пріоритет у відповідь на вміст зображення та безпосередній інтерес користувача. Така передача може призвести до відображення з нерівномірною роздільною здатністю. Регіони, що містять візуально чи оперативну важливу інформацію, можуть бути надані з набагато більшою роздільною здатністю, з уточненням, відкладеним для областей однакової інтенсивності або меншого значення.

З багатьох існуючих схем прогресивного зображення, техніка, яка найбільш широко використовується у прогресивній передачі зображення в області трансформації, базується на дискретному косинусному перетворенні. Прогресивне кодування зображення ДКП включено в нещодавно затверджений стандарт *JPEG*. Однак ці способи реалізації прогресивної передачі зображення мають такі недоліки [14]:

1. Обчислювальне навантаження обернено-прогресивної передачі зображення велике, оскільки для цього потрібно обчислення зворотного ДКП (на додаток до прямого ДКП на кінці передачі). Для задоволення цих обчислювальних вимог ДКП часто реалізується за допомогою спеціалізованих схем *VLSI*.

2. Використовуючи задане кодування зображення *JPEG*, неможливо ефективно відновити довільну кількість відновлюючих пікселів, що представляє високий інтерес, з повною роздільною здатністю, тоді як інші області з низьким рівнем інтересу залишаються з низькою роздільною здатністю.

3. Коли прогресивна передача зображень застосовується до телеогляду архівованих зображень, сильно стислі дані зберігаються в режимі онлайн-зберігання

та використовуються для ефективного перегляду даних для визначення потенційно корисних наборів даних для подальшої обробки. Після того, як вибір зроблено, вихідні дані отримуються з офлайн-сховища. Тут дані про якість перегляду та відповідні вихідні дані містять надлишкову інформацію, внаслідок чого частка цієї інформації передається двічі, тим самим знижуючи продуктивність [14].

Прогнозування на місцях може бути високоефективним у випадках значного горизонтального прискорення. У цих випадках об'єкт, захоплений у двох різних полях, має зубчасті вертикальні краї, якщо розглядати їх як кадр, при цьому глибина зазубреності змінюється з часом через прискорення. Оцінка руху на основі кадру неефективна в цьому випадку і залишає багато важких для стиснення високочастотних зубців. Прогнозування на місцях може виконувати досить добре. З іншого боку, для більш доброякісних випадків руху прогнозування на основі кадру може ефективніше використовувати вертикальну надмірність. Дозволяючи вибір між режимами, що відбуватимуться на основі макроблоків дає найкраще з обох світів ціною незначного збільшення накладних витрат (чистий ефект на користь дозволу вибору).

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты. – Мн.: ООО «Попурри», 2003. – 272 с.
2. Самощенко О.В. Дискретне косинусне перетворення. – ДонНТУ, Донецьк, 2011. – 8 с.
3. *Andrew B. Watson Image Compression Using the Discrete Cosine Transform.* – NASA Ames Research Center, 1994. – 17 p.
4. *Wei Zhou High Definition, Low Delay, SDR-Based Video Transmission in UAV Applications.* – Analog Devices, 2017. – p. 3 – 5.
5. *Huffman D.A. A method for the construction of minimum redundancy codes, Proceedings IRE, vol. 40,* – 1962. p. 1 – 15.
6. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
7. Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация: Учебное пособие для вузов / Рыков А.С. – М.: МИСИС, Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 352 с.
8. Селякова С.М. Модификация метода ЭЛЕКТРА решения задач многокритериального выбора для случая переменного значения весов критериев. – Донецкий национальный технический университет, 2013. – 7 с.
9. *Vargas R. V. Using the analytic hierarchy process (ahp) to select and prioritize projects in a portfolio.* – North America, Washington, DC, 2010. p. 15 – 17.
10. Чичева М.А. Быстрые алгоритмы дискретного косинусного преобразования учеб. пособие / М.А. Чичева. – Самара : Изд-во Самар, гос. аэрокосм. ун-та; 2006. – 56 с.
11. Зинченко О.Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Изд. «Ракурс», Москва, Россия, 2011. – 12 с.
12. Павловский Ю.Н. Имитационное моделирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 236 с.

13. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група BHV, 2005. – 352 с.
14. Byrnes J.S. *Wavelet Analysis and Its Applications. Prometheus Inc. and the University of Massachusetts at Boston*, 1998. – 368 p.
15. Andreas Uhl *Lecture Notes Compression Technologies and Multimedia Data Formats. – Department of Computer Sciences University of Salzburg*, 2011. – 120 p.
16. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2013. – 381 с.
17. Хунцария Дж. М., Хирьянов Ю. А., Хунцария Л. Дж. Компрессия изображений на примере стандарта *JPEG*. – Грузинский Технический Университет, 2014. – 10 с.
18. Клименко Л.А., Гордієнко А.Ю. Аналіз методів стиснення зображень на основі дискретно – косинусного перетворення. – Український державний університет залізничного транспорту, 2019. – 8 с.
19. Raid A.M., Khedr W.M., El-dosuky M. A. *Wesam Ahmed Jpeg Image Compression Using Discrete Cosine Transform – A Survey. – Mansoura University, Faculty of Computer Science and Information System Zagazig University, Faculty of Science*, 2014. – 9 p.
20. Hudson G.P., Yasuda H., Sebestyen I. *The international standardization of a still picture compression technique. In Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference, IEEE Communications Society*, – 1988.
21. Semra Birgün E. *Cihan Supplier selection process using ELECTRE method. – Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE)*, 2010. – 6 p.
22. Babak D. R., Serpil E. *Selecting the Best Project Using the Fuzzy ELECTRE Method. – Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey*, 2012. – 12 p.
23. Кривуца В.Г., Булгач В.Л., Дикарев А.В., Лазаренко В.Н. Вариация коэффициентов дискретного косинусного преобразования. Вісник ДУІКТ. – 2012. – 9 с.
24. Mohsen Nasri, Abdelhamid Helali, Halim Sghaier, Hassen Maaref. *Priority Image Transmission in Wireless Sensor Networks. 8th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices*, 2011.

25. *Harshada Gujar, Pranaya Mhatre, Shweta Ghanate, Snehal Chile Python Based Image Processing. Usha Mittal Institute of Technology, SNDT Women's University, 2015. – 16 p.*
26. *Defining Video Quality Requirements: A Guide for Public Safety / by Video Quality in Public Safety Working Group, 2010. – 47 p.*
27. Системный анализ в инфокоммуникациях: навчальний посібник / Балькин Г. Ф., Балькин Ю. Г., Крапивянская Л. А. – Київ: ДУТ, 2014. – 97 с.
28. Теория принятия решений в 2 т. Том 2 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В. Г. Халин [и др.] ; ответственный редактор В. Г. Халин. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 431 с.
29. Львова А.А. Векторне дискретне косинусне перетворення для інтелектуальних сенсорів комп'ютерних мереж рухомих літальних апаратів: дипломний проект. Львова А.А. Національний Авіаційний Університет, 2019. – 70 с.
30. Шапрун Д.А. Формализация выбора оборудования полевого уровня при проектировании АСУ ТП: маг. дис. Шапрун Д.А. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Сибирский федеральный университет”, 2018. – 85 с.
31. Дискретное косинусное преобразование как математическая основа компрессии изображения [Интернет-ресурс] / Web-сайт: *bezopasnik.info*. Режим доступа – <https://bezopasnik.info/дискретное-косинусное-преобразование/>, вільний.
32. *Drones and wireless video* [Интернет-ресурс] / Web-сайт: *datarespons.com*. Режим доступа – <https://datarespons.com/drones-wireless-video/>, вільний.
33. *Drone Communication – Data Link* [Интернет-ресурс] / Web-сайт: *911security.com*. Режим доступа – <https://www.911security.com/learn/airspace-security/drone-fundamentals/drone-communication-data-link>, вільний.
34. Метод анализа иерархий [Интернет-ресурс] / Web-сайт: *axd.semestr.ru*. Режим доступа – <https://axd.semestr.ru/upr/hierarchies.php>, вільний.
35. Метод аналізу ієрархій [Интернет-ресурс] / Web-сайт: *dss.tg.ck.ua*. Режим доступа – <http://dss.tg.ck.ua/ahp-help>, вільний.

36. *ELECTRE* [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: *en.wikipedia.org*. Режим доступу – <https://en.wikipedia.org/wiki/ELECTRE>, вільний.
37. *ELECTRE Methods* [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: *xlstat.com*. Режим доступу – <https://www.xlstat.com/en/solutions/features/multicriteria-decision-aid-electre-methods>, вільний.
38. Ада Лавдейс [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: *uk.wikipedia.org*. Режим доступу – https://uk.wikipedia.org/wiki/Ада_Лавдейс.
39. Корольов Сергій Павлович. Біографічна довідка [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: *kpi.ua*. Режим доступу – <https://kpi.ua/about-korolyov>, вільний.
40. Алгоритмы сжатия изображений (*Image Compression Algorithms*) [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: *api-2d3d-cad.com*. Режим доступу – <https://api-2d3d-cad.com/imagecompression/>, вільний.
41. *Image Transmission* [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: *sciencedirect.com*. Режим доступу – <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/image-transmission>, вільний.

ДОДАТКИ

Додаток А

```
import matplotlib.pyplot as pylab
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import scipy
from numpy import pi
from numpy import r_
from numpy import zeros
from scipy import misc

pylab.rcParams['figure.figsize'] = (20.0, 7.0)
im = misc.imread("zelda.tif").astype(float)

"""Define 2D DCT and IDCT"""

def dct2(a):

    return scipy.fftpack.dct(scipy.fftpack.dct(a, axis=0, norm='ortho'), axis=1, norm='ortho')

def idct2(a):

    return scipy.fftpack.idct(scipy.fftpack.idct(a, axis=0, norm='ortho'), axis=1,
norm='ortho')

"""Perform a blockwise DCT"""

imsize = im.shape
dct = np.zeros(imsize)
for i in r_[:imsize[0]:8]:
    for j in r_[:imsize[26]:8]:
```

```
dct[i:(i+8), j:(j+8)] = dct2(im[i:(i+8), j:(j+8)])
```

```
"""Extract 8x8 block and look at its DCT coefficients"""
```

```
pos = 128
```

```
plt.figure()  
plt.imshow(im[pos:pos+8, :pos+8], cmap='gray')  
plt.title("An 8x8 Image block")
```

```
# Display the dct of that block
```

```
plt.figure()  
plt.imshow(dct[pos:pos+8, pos:pos+8], cmap='gray', vmax=np.max(dct)*0.01, vmin=0,  
extent=[0, pi, pi, 0])  
plt.title("An 8x8 DCT block")
```

```
thresh = 0.012
```

```
dct_thresh = dct * (abs(dct) > (thresh*np.max(dct)))
```

```
"""Compare DCT compressed image with original"""
```

```
im_dct = np.zeros(imsize)
```

```
for i in r_[:imsize[0]:8]:  
    for j in r_[:imsize[26]:8]:  
        im_dct[i:(i + 8), j:(j + 8)] = idct2(dct_thresh[i:(i + 8), j:(j + 8)])
```

```
plt.figure()  
plt.imshow(np.hstack((im, im_dct)), cmap='gray')  
plt.title("Comparison between original and DCT compressed images")
```

```
""""Compare with DFT compressed image""""
```

```
dft = zeros(imsize, dtype='complex')
```

```
im_dft = zeros(imsize, dtype='complex')
```

```
for i in r_[:imsize[0]:8]:
```

```
    for j in r_[:imsize[26]:8]:
```

```
        dft[i:(i + 8), j:(j + 8)] = np.fft.fft2(im[i:(i + 8), j:(j + 8)])
```

```
thresh = 0.013
```

```
dft_thresh = dft * (abs(dft) > (thresh * np.max(abs(dft))))
```

```
percent_nonzeros_dft = np.sum(dft_thresh != 0.0) / (imsize[0] * imsize[26] * 1.0)
```

```
for i in r_[:imsize[0]:8]:
```

```
    for j in r_[:imsize[26]:8]:
```

```
        im_dft[i:(i + 8), j:(j + 8)] = np.fft.ifft2(dft_thresh[i:(i + 8), j:(j + 8)])
```

```
plt.figure()
```

```
plt.imshow(np.hstack((im, im_dct, abs(im_dft))), cmap='gray')
```

```
plt.title("Comparison between original, DCT compressed and DFT compressed images")
```